

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**UTILIZAÇÃO DE UM SIG NO DESENVOLVIMENTO DE UM
BANCO DE DADOS GEOTÉCNICOS DO NORTE DO ESTADO DO
RIO GRANDE DO SUL**

RAFAEL REIS HIGASHI

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Infra-Estrutura e Gerência Viária

Orientadora : Prof^a. Dr^a. Regina Davison Dias

**FLORIANÓPOLIS
2002**

HIGASHI, Rafael Reis Higashi. Utilização de um SIG no Desenvolvimento de um Banco de Dados Geotécnicos do Norte do Estado do Rio Grande do Sul. Florianópolis, 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área: Infra Estrutura e Gerência Viária) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

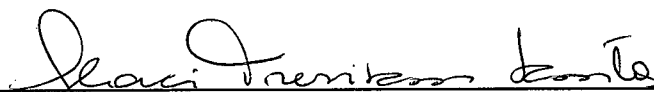
**Orientador: Regina Davison Dias, Dr^a
Defesa 02/2002**

FOLHA DE APROVAÇÃO


Dissertação defendida em 08 / 02 / 2002. Seção nº 219 do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, e aprovada pela Comissão Examinadora.



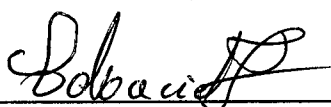
Prof.^a. Dr.^a. Regina Davison Dias – Orientadora – UFSC



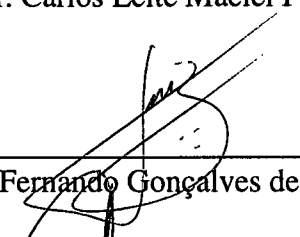
Prof.^a. Dr.^a. Glaci Trevisan Santos – UFSC



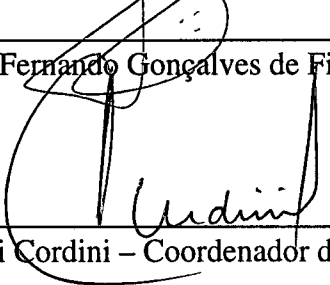
Prof. PhD. Marciano Maccarini – UFSC



Prof. Dr. Carlos Leite Maciel Filho – UFSM



Prof. Dr. Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo – UFSC



Prof. Dr. Jucilei Cordini – Coordenador do PPGECC – UFSC

À Silvia

AGRADECIMENTOS

A Deus que, pelo dom da vida, me permite ser útil a meus semelhantes.

À minha família que, mesmo distante, sempre esteve e estará ao meu lado.

À professora e sempre orientadora Regina Davison Dias pelo companheirismo, paciência, estímulo e amizade no desenvolvimento deste trabalho.

À Professora Glaci Trevisan Santos, pela disponibilidade, ajuda e incentivo em todos estes anos.

Ao professor Marciano Maccarini, pela amizade e pelo conhecimento transmitido nas disciplinas do curso de Pós-Graduação.

Ao professor Marcon, pelo incentivo em suas visitas ao laboratório.

Ao colega do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e professor Walter Sant'ana, pela amizade e companheirismo durante o curso.

Ao colega do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil Daniel Dassoler Silva e aos colegas bolsistas de iniciação científica, Celso Mafra Jr., Daniel Coelho e Daniel Nolasco pelo auxílio, sempre que possível, e companheirismo durante este trabalho.

Ao colega bolsista de iniciação científica Klayton Martins, pela ajuda com o SIG e pela amizade nesta etapa.

Aos novos colegas bolsistas de iniciação científica André Wagner, Fabiana Leite, Fabrício Kremer e Márcia Meirelles, pelo apoio e agradável ambiente de trabalho.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, cuja bolsa de estudos viabilizou a realização deste trabalho.

A todos aqueles que, embora não tenham sido citados, de alguma maneira contribuíram na realização desta dissertação.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo Geral	3
1.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Estrutura do Trabalho	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	4
2.1.1. Sistema de Informações Geográficas SIG	4
2.1.2. Conceitos Utilizados em Sistemas de Informações Geográficas	11
a) Mapas Temáticos	11
b) Topologia	12
c) Atributos	12
d) Objetos Cartográficos e Matriciais	13
e) Tabela de Feições	14
f) Dados Vetoriais	14
2.1.3. Sistema de Informações Geográficas <i>ArcView GIS</i>	14
2.1.4. Tratamento de Dados	16
2.2. BANCO DE DADOS GEOTÉCNICOS	17
2.2.1. Banco de dados	17
2.2.2. Banco de dados geotécnicos	19
2.3. MAPEAMENTO GEOTÉCNICO	23
2.3.1. Mapa Geotécnico	23
2.3.2. Mapeamento Geotécnico	24
2.3.3. Metodologias de Mapeamento Geotécnico	26
2.3.4. Metodologia de Mapeamento Geotécnico Empregada no Sul do Brasil	28
2.3.4.1. Estimativas das Unidades Geotécnicas	29
2.4. PEDOLOGIA	34
2.4.1. Formação dos Perfis de Solos	35
2.4.2. Os Latossolos	39

2.5. PEDOLOGIA APLICADA A GEOTECNIA	42
2.4.1. Comportamento Geral dos Latossolos	46
2.4.2. Caracterização dos Latossolos	46
2.4.3. SPT – <i>Standard Penetration Test</i>	47
2.4.4. Compressibilidade	48
2.4.5. Colapsividade	48
2.4.6. Resistência ao Cisalhamento	48
2.4.7. Compactação	50
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	52
3.1. Clima e Relevo	53
3.2. Unidades Geológicas	54
3.3. Unidades Pedológicas	59
3.3.1. Latossolos do Norte do Estado do Rio Grande do Sul	61
3.3.2. Descrição das Unidades Pedológicas do Norte do Estado do Rio Grande do Sul	67
4. METODOLOGIA DE TRABALHO	71
4.1. Coleta de Dados Geotécnicos	73
4.2. Planejamento da Utilização dos Dados Geotécnicos	75
4.3. Coleta da Informação Espacial	76
4.4. Tratamento e Análise da Informação Espacial Através do SIG ArcView	77
4.5. Revisão das Informações Geotécnicas Adquiridas	79
4.6. Geração dos Mapas de Estimativa Pedológica e Litológica	80
4.6.1. Mapa de Estimativas Litológicas	80
4.6.2. Mapa de Estimativas Pedológicas	81
4.7. Análise e Gerenciamento de Informações	81
4.8. Utilização de cores nas Unidades Geotécnicas	82
4.9. Produto Final do Emprego da Metodologia	85
4.10. Acessibilidade do Bando de Dados Geotécnico	87
5. MAPA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS DO NORTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL	90
5.1. Mapa Geotécnico	90
5.1.1. Unidades Geotécnicas	91
5.2. Mapa de Estimativas Litológicas e Pedológicas	94
5.3. Unidades Litológicas e Pedológicas	97
5.3.1. Unidades Litológicas	97
5.3.2. Unidades Pedológicas	99
5.3.3. Solos Hidromórficos	111
5.3.4. Pedologia Provinda da Litologia de Basalto	112
5.3.5. Pedologia Provinda da Litologia de Arenito	114
6. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DOS LATOSSOLOS DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS INVESTIGADAS	116

6.1. Considerações	116
6.2. Ensaio de Caracterização	116
6.2.1. Índices Físicos	118
6.3. Resistência ao Cisalhamento	119
6.4. SPT	121
6.5. Compactação	122
6.6. Compressibilidade	124
6.7. Colapsividade	127
7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES	129
7.1. Conclusões	129
7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros	130
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
ANEXO – MAPA GEOTÉCNICO	143

LISTA DE FIGURAS

Figura .1.2.1.	Objetos vetoriais.	13
Figura .1.3.1.	Estruturação de organização das informações no <i>ArcView</i> .	15
Figura .1.2.2.	Exemplo de estruturação de organização das informações no <i>ArcView</i> .	16
Figura .2.1.1.	Representação simplificada de um sistema de banco de dados (Date, 2000).	18
Figura .2.2.1.	Composição do banco de dados.	21
Figura .3.4.1.	Cruzamento entre os mapas pedológico e geológico.	28
Figura 2.3.4.1.1.	Simbologia de unidades geotécnicas segundo DAVISON DIAS et al. (1987).	30
Figura 2.3.4.1.2.	Exemplo do emprego da simbologia de unidades geotécnicas no norte do norte do estado do Rio Grande do Sul.	30
Figura 2.2.1.1.	Perfis hipotéticos ilustrando diferentes horizontes e camadas OLIVEIRA et al. (1992).	39
Figura 2.4.2.1.	Perfil típico de um Latossolo Roxo e seus respectivos horizontes superficiais (OLIVEIRA et al. 1992).	40
Figura 2.5.1.	Perfil do solo: uma comparação entre as classificações pedológica e geotécnica (KERTZMAN E DINIZ, modificado por SOUZA, 1992).	42
Figura 2.4.6.1.	Talude mostrando um horizonte B profundo, típico de um Latossolo no norte do estado do Rio Grande do Sul.	50
Figura 3.1.	Localização do norte do estado do Rio Grande do Sul.	52
Figura 3.1.1.	Classificação climática do Brasil segundo Köppen (GALVÃO, 1966).	53
Figura 3.2.1.	Exemplo da Formação Botucatu demonstrando o arenito em forma de rocha e o horizonte C escavável (DAVISON DIAS et al, 1996).	55
Figura 3.2.2.	Formação Rosário do Sul (DAVISON DIAS et al, 1996).	55
Figura 3.2.3.	Áreas do Brasil afetadas pela atividade vulcânica do passado geológico. A área coberta pelos derrames basálticos da bacia do Paraná é a maior do mundo, achando-se parcialmente coberta por sedimentos posteriores, do cretáceo (LEINS, V. & AMARAL, S. E., 1978).	56
Figura 3.2.4.	Áreas dos principais derrames de lavas basálticas no mundo ocorridas no mesozóico inferior e terciário superior. (LEINS, V. & AMARAL, S. E., 1978).	57
Figura 3.3.1.	Diversidade de solos existente do norte do estado do Rio Grande do Sul.	60
Figura 3.3.1.1.	Áreas prováveis de maior ocorrência dos principais solos zonais do mundo (Adaptado de mapa preparado pelo "Soil Survey Division, U. S. Soil Cons. Service", EUA).	62
Figura 3.3.1.2.	Localização da região do planalto do Norte do Rio Grande do Sul.	63
Figura 3.3.1.3.	Perfil de Latossolo Roxo.	64
Figura 4.1.	Descrição da metodologia empregada.	72
Figura 4.1.1.	Tabela utilizada para a inserção de dados ao Banco de dados Geotécnico.	73
Figura 4.1.2.	Gráfico de cisalhamento direto escaneado e georreferenciado.	74
Figura 4.2.1.	Interface do <i>software ArcView</i> .	75

Figura 4.3.1.	Mapa do Norte do estado do Rio Grande do Sul no CAD.	76
Figura 4.4.1.	Tabela associada a polígonos e pontos.	78
Figura 4.4.2.	Gráficos associados a pontos georreferenciados de amostragem.	78
Figura 4.4.3.	Fotos de perfis típicos de solos associados a polígonos.	79
Figura 4.6.1.1.	União das unidades geotécnicas a partir do substrato.	80
Figura 4.6.2.1.	Exemplo da união da pedologia a partir das unidades geotécnicas.	81
Figura 4.8.1.	Utilização do SIG na variação das tonalidades das cores.	83
Figura 4.8.2.	Lista de cores das unidades geotécnicas.	83
Figura 4.8.3.	Exemplo de cores das unidades geotécnicas dos Latossolos.	84
Figura 4.8.4.	Exemplo de cores das unidades geotécnicas de alguns solos Hidromórficos.	84
Figura 4.8.5.	Exemplo de cores das unidades geotécnicas dos solos Litólicos.	85
Figura 4.9.1.	Seleção da <i>view</i> .	85
Figura 4.9.2.	Pontos de coleta de amostras.	86
Figura 4.9.3.	Ponto de coleta dos ensaios geotécnicos.	87
Figura 4.10.1.	Utilização da ferramenta <i>identify</i> , no acesso de informações geotécnicas da localidade Frederico Westphalen.	88
Figura 4.10.2.	Utilização da ferramenta <i>Hot Link</i> , no acesso de um perfil típico de um Latossolo Bruno Roxo, no banco de dados geotécnicos.	89
Figura 5.1.1.	Mapa de unidades geotécnicas no norte do estado do Rio Grande do Sul.	90
Figura 5.1.1.1.	Distribuição da área das unidades geotécnicas no norte do estado do Rio Grande do Sul.	92
Figura 5.2.1.	Mapa litológico do norte do estado do Rio Grande do Sul.	95
Figura 5.2.2.	Mapa pedológico do norte do estado do Rio Grande do Sul.	96
Figura 5.3.1.1.	Litologia do norte do estado do Rio Grande do Sul.	97
Figura 5.3.2.1.	Unidades pedológicas.	99
Figura 5.3.2.2.	Localização de todos os Latossolos do norte do estado do Rio Grande do Sul.	101
Figura 5.3.2.3.	Ocorrência de Latossolos no norte do estado do Rio Grande do Sul.	101
Figura 5.3.2.4.	Ocorrência de Latossolos no norte do estado do Rio Grande do Sul.	102
Figura 5.3.2.5.	Localização do Latossolo Roxo.	103
Figura 5.3.2.6.	Localização do Latossolo Vermelho Escuro.	104
Figura 5.3.2.7.	Localização do Latossolo Bruno Intermediário para Roxo.	105
Figura 5.3.2.8.	Latossolos de Substrato Arenito – Riolito.	106
Figura 5.3.2.9.	Latossolos de Substrato Riolito.	107
Figura 5.3.2.10.	Latossolos de Substrato Arenito – siltito.	108
Figura 5.3.2.11.	Latossolos de Substrato Arenito.	109
Figura 5.3.2.12.	Latossolos de Substrato Basalto.	110
Figura 5.3.3.1.	Solos Hidromórficos do norte do estado do Rio Grande do Sul.	111
Figura 5.3.4.1.	Localização das unidades pedológicas provindas da litologia basalto.	113
Figura 5.3.5.1.	Localização das unidades pedológicas provindas da associação do substrato arenito e outras litologias.	115
Figura 6.2.1.	Variação da areia fina na Localidade de Santa Bárbara – Latossolo Vermelho Escuro substrato arenito.	118
Figura 6.3.1.	Queda da envoltória de ruptura com a inundação das localidades Palmeira das Missões e Carazinho através do <i>ArcView</i> .	119
Figura 6.3.2.	Coesão e ângulo de atrito dos Latossolos Vermelhos Escuros do	120

	norte do estado do Rio Grande do Sul.	
Figura 6.3.3.	Coesão e ângulo de atrito dos Latossolos Roxos do norte do estado do Rio Grande do Sul.	120
Figura 6.4.1.	Camada laterítica sem maiores variações do número de golpes do SPT.	121
Figura 6.4.2.	Resultado do ensaio SPT.	122
Figura 6.5.1.	Comparação entre a umidade ótima e a umidade natural.	124
Figura 6.6.2.	Gráfico dos índices de recompressão, compressão e descarregamento.	126
Figura 6.6.3.	Gráfico da pressão de pré-adensamento de amostras de Latossolo Vermelho Escuro substrato arenito.	126
Figura 6.6.4.	Gráfico da pressão de pré-adensamento de amostras de Latossolo Roxo substrato basalto.	127
Figura 6.7.1.	Colapsividade dos Latossolos do Norte do estado do Rio Grande do Sul.	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.2.1.	Evolução da tecnologia SIG (Câmara e Freitas, 1995).	9
Tabela 2.3.2.1.	Principais metodologias de mapeamento geotécnico, segundo Kopezinski (2000).	25
Tabela 2.3.4.1.	Simbologia simplificada das classes pedológicas Davison Dias (2001).	31
Tabela 2.3.4.2.	Identificação de espessura de horizonte Davison Dias (2001).	31
Tabela 2.3.4.3.	Geologia simplificada Davison Dias (2001).	32
Tabela 2.4.1.1.	Esquema de classificação de maciços rochosos intemperizados segundo a (ISRM, 1978).	36
Tabela 3.2.1.	Zonas provenientes do resfriamento do basalto (Teixeira, 1992).	58
Tabela 3.3.1.	Principais grandes grupos de solos do Rio Grande do Sul, segundo o grau de desenvolvimento do horizonte B , baseado no levantamento de Lemos et al. (1973) de acordo com Davison Dias (1985).	61
Tabela 5.1.1.1.	Distribuição da área das unidades geotécnicas no norte do estado do Rio Grande do Sul.	93
Tabela 5.3.1.1.	Ocorrência do arenito.	98
Tabela 5.3.1.2.	Áreas totais apresentadas pelas unidades litológicas.	98
Tabela 5.3.2.1.	Áreas totais de unidades pedológicas existentes no norte do Estado do Rio Grande do Sul.	100
Tabela 5.3.3.1.	Porcentagem total dos solos Hidromórficos do norte do estado do Rio Grande do Sul e suas respectivas áreas.	112
Tabela. 5.3.5.1.	Porcentagem em relação ao total das unidades de arenito e área das unidades pedológicas provindas deste substrato do norte do estado do Rio Grande do Sul.	113
Tabela 5.3.5.2.	Porcentagem total das unidades de arenito e outros substratos associados do norte do estado do Rio Grande do Sul.	114
Tabela 6.2.1.	Comparação entre os ensaios de caracterização com e sem defloculante de unidades de Latossolos da localidade.	117
Tabela 6.5.1.	Valores da umidade ótima muito próxima da umidade natural.	123
Tabela 6.6.1.	Resultados do ensaio de adensamento de alguns Latossolos Vermelho Escuro.	125

RESUMO

HIGASHI, R. R. "Utilização de um SIG no Desenvolvimento de um Banco de Dados Geotécnico do Norte do Estado do Rio Grande do Sul". Florianópolis, 2002 – UFSC, CPGEC, Santa Catarina.

A estruturação de um banco de dados em estudos geotécnicos é de grande importância para armazenar informações e facilitar a comparação entre várias propriedades geotécnicas observadas em uma determinada localidade. Um banco de dados, além de permitir o desenvolvimento de correlações, pode resultar em uma maior compreensão do comportamento de um determinado solo quando empregado em conjunto a um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Este trabalho descreve o desenvolvimento estrutural de um banco de dados geotécnicos que utiliza informações dos solos do norte do estado do Rio Grande do Sul. O banco de dados desenvolvido, empregado juntamente com uma ferramenta de SIG aliada a um banco de dados geotécnicos, visa facilitar o acesso aos dados dos solos da região.

O mapa geotécnico da região estudada, em escala de 1:1.000.000, foi analisado com o auxílio da metodologia de mapeamento geotécnico de grandes áreas adotada no sul do Brasil, que utiliza conhecimentos de pedologia e geologia. Este mapa foi introduzido no *software* de SIG, *ArcView*.

A partir deste estudo, é sugerida a utilização de uma metodologia que usa a variação da tonalidade das cores para diferenciar as unidades geotécnicas encontradas na região, dando ênfase aos solos mais desenvolvidos.

Um banco de dados com fotografias de perfis típicos de solos, resultados de ensaios geotécnicos de campo e laboratório, referentes à localidade foram inseridos para uma melhor caracterização da região. Os dados foram reunidos através de pesquisa em dissertações, teses e trabalhos relacionados a esta área e vinculados ao mapa geotécnico.

Como resultado da utilização desta tecnologia, tem-se a viabilização do acesso ao banco de dados geotécnicos através de uma ferramenta computacional, o *ArcView*, e consequentemente, um maior conhecimento dos solos do norte do estado do Rio Grande do Sul.

Palavras-chave: *SIG* – mapeamento geotécnico – banco de dados

ABSTRACT

HIGASHI, R. R. "Utilization of a GIS in the Development of a Geotechnical Data Base of the Northern Part of Rio Grande do Sul State". Florianópolis, 2002 – UFSC, CPGEC, Santa Catarina.

The structuring of a data base in geotechnical studies is of great importance for storing information as well as to facilitate the comparison among various geotechnical properties observed in a certain region. A data base, in addition to allowing the development of correlations, can also provide a better understanding of a certain soil behavior when it is used in connection with a Geographic Information System (GIS).

This work describes the structural development of a geotechnical data base which utilizes information of the northern part of Rio Grande do Sul state soils. The developed data base, employed with a GIS tool, aims to facilitate the access to the data of the studied area.

The geotechnical map has been analyzed using the large areas geotechnical mapping methodology adopted in the southern part of Brazil, that uses knowledge of the pedology and geology areas. As a part of this work, the map has been introduced in a GIS, called *ArcView*.

Through the analysis of that map, a methodology is suggested that utilizes a variation of color tones to differentiate the geotechnical unities found in the investigated area, emphasizing the most developed soils.

A data base composed by photographs of typical soils profiles, geotechnical and field tests results have also been introduced to allow a better characterization of the region. The data have been gathered from several technical documents related to the subject and subsequently linked to the geotechnical map.

The application of this technology, allows the access to the geotechnical data base through a computational tool, *ArcView*, which in turn increases the knowledge of the soils of the investigated region.

Key-words: *GIS* – geotechnical mapping – data base

1. INTRODUÇÃO

O planejamento urbano das grandes cidades não pode ser elaborado sem considerar a mecânica dos solos como uma das condicionantes mais importantes. Tanto os aspectos qualitativos, quanto os quantitativos devem ser considerados.

A ocupação das cidades e estados, está sendo realizada de forma desordenada, com inúmeros problemas decorrentes do uso inadequado do solo. As intervenções no ambiente sempre representam algum impacto. Muitas vezes, até por desconhecimento, não se avalia o risco geotécnico das obras de engenharia, principalmente das pequenas obras. Desta forma, a busca do conhecimento das características geotécnicas se faz extremamente necessária.

Caracterizar geotecnicamente uma determinada área através de mapas, tem sido uma tarefa árdua para muitos pesquisadores.

Por esta razão, surgiu a necessidade de transformar mapas e cartas em papel para o meio digital com o objetivo de facilitar o acesso a informações referentes aos dados quando estes são empregados em um Sistema de Informações Geográficas.

Com a evolução da informática, a utilização de computadores tem provocado um grande impacto na prática do mapeamento geotécnico em razão das facilidades que os *softwares* proporcionam.

A integração de informações gráficas através de Sistemas de Informações Geográficas, SIG, permite bons resultados, sendo cada vez menores as dificuldades na utilização e os custos de aquisição dos programas computacionais.

O solo caracteriza-se por possuir comportamento geomecânico diferenciado dos demais materiais utilizados na engenharia civil, mudando de característica de um lugar para outro. Devido a esta razão, para melhor caracterizar uma determinada unidade geotécnica, foi desenvolvido um banco de dados geotécnicos com o objetivo de, através de informações expressas por gráficos, tabelas, fotos, etc., localizar geograficamente e tentar estimar o comportamento geomecânico dos solos de uma determinada região: o norte do estado do Rio Grande do Sul.

Para a utilização do Sistema de Informações Geográficas foi necessário indexar um mapa geotécnico a um banco de dados para que fosse possível a melhor caracterização de uma determinada área em estudo através do SIG.

Os solos do norte do estado do Rio Grande do Sul, apesar de estarem situados em uma região subtropical, apresentam perfis com comportamento típico de solos tropicais. Tendo como base a classificação de solos que utiliza-se da evolução do horizonte “B”, a área escolhida se caracteriza como uma região de Latossolos e outros solos laterizados.

O norte do estado do Rio Grande do Sul foi escolhido para esta pesquisa por conter um grande número de resultados de ensaios geotécnicos, uma grande diversidade de solos, apresentar solos evoluídos e por possuir semelhanças com características geotécnicas de outras regiões, o que tornará possível uma futura comparação de universos geotécnicos com outras localidades deste país.

Os resultados dos ensaios geotécnicos adquiridos ao longo da pesquisa foram, quase em sua maioria, dos Latossolos do Norte do estado. Por esta razão, as comparações e análises, são realizadas em torno deste tipo de solo.

A estruturação de um banco de dados é de grande importância para armazenar informações e facilitar a comparação entre várias propriedades geotécnicas observadas em uma determinada localidade. Um banco de dados, além de permitir o desenvolvimento de correlações, pode resultar em uma maior compreensão do comportamento de um determinado solo quando empregado em conjunto a um SIG. Os resultados dos ensaios geotécnicos de laboratório estão georreferenciados em relação a sua amostragem, condição necessária para serem inseridos em um *Sistema de Informações Geográficas*.

Na elaboração da estimativa de unidades geotécnicas, utilizou-se a metodologia de mapeamento geotécnico de grandes áreas (Davison Dias, 1995). Esta metodologia propõe a sobreposição de mapas temáticos para construção de um mapa geotécnico.

Esta dissertação demonstra a integração da metodologia de mapeamento geotécnico com o emprego de um SIG anexado a um banco de dados geotécnicos, visando desta forma facilitar o acesso e a análise das informações geotécnicas coletadas.

1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a montagem e estruturação de um banco de dados geotécnicos com a utilização de um Sistema de Informações Geotécnicas no mapeamento geotécnico do norte do Rio Grande do Sul.

1.2. Objetivos Específicos

- Pesquisa e construção de um banco de dados geotécnicos dos solos do norte do estado do Rio Grande do Sul;
- Preparação das informações coletadas em planilhas eletrônicas;
- Transformação de gráficos de ensaios geotécnicos em figuras;
- Adição, através do software *ArcView*, do banco de dados contendo resultados de ensaios geotécnicos de laboratório (caracterização, adensamento, resistência ao cisalhamento e colapsividade) e de campo (SPT), assim como fotos de perfis típicos de solos ao mapa geotécnico;
- Construção do mapa de estimativas litológicas e pedológicas do norte do estado do Rio Grande do Sul;
- Identificar e atribuir cores específicas às unidades geotécnicas;
- Comparar resultados do mapeamento geotécnico com a utilização do *SIG*;
- Utilizar o *SIG* nos mapas litológico e pedológico para a obtenção de resultados.

1.3. Estrutura do Trabalho

A dissertação apresenta-se estruturada em 7 capítulos, sendo no primeiro apresentado a introdução do trabalho em conjunto com a importância da pesquisa e os objetivos geral e específico.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica dos temas discutidos e divide-se em três assuntos principais. O capítulo 2.1 descreve alguns conceitos de *Sistema de Informações Geográficas* e demonstra o *software* empregado na dissertação. A segunda parte discute sobre banco de dados, de uma forma generalizada, e posteriormente mais específica sobre banco de dados geotécnicos. A terceira parte apresenta as metodologias

de mapeamento do mundo e do Brasil, especificamente a metodologia proposta por Davison Dias (1995) de mapeamento geotécnico de grandes áreas empregada no sul do país. Em seguida são apresentados alguns conceitos de pedologia e destacados, de uma forma abrangente, a questão da formação dos solos, os perfis de alteração do solo e a aplicação da pedologia na engenharia geotécnica.

No capítulo 3 é realizada a caracterização da área de estudo quanto aos aspectos relativos ao relevo, clima, geologia e pedologia do norte do estado do Rio Grande do Sul.

No capítulo 4 é apresentada a metodologia do trabalho, demonstrando as etapas de desenvolvimento da dissertação. É proposta neste capítulo uma metodologia de utilização de cores para facilitar a identificação das unidades geotécnicas com o auxílio do Sistema de Informações Geográficas.

No capítulo 5 são apresentados e analisados os mapas geotécnico, litológico e pedológico da região. Este capítulo demonstra ainda a ocorrência de todas as estimativas destas unidades. São desenvolvidos ainda estudos relacionando os Latossolos com a litologia predominante da região e as demais unidades pedológicas existentes.

O capítulo 6 desenvolve uma breve análise, com a utilização do Sistema de Informações Geográficas, dos Latossolos do estado, relacionando-os com o banco de dados geotécnico.

No sétimo e último capítulo, são apresentadas as conclusões da dissertação e sugestões para trabalhos futuros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

A implementação de um *SIG* requer a integração de conhecimentos de diversas áreas da Ciência da computação e de disciplinas relacionadas a diversos tipos específicos de dados. Para uma melhor compreensão, este capítulo apresenta inicialmente alguns conceitos básicos de Sistema de Informações Geográficas.

2.1.1. Sistema de Informações Geográficas - SIG

As constantes alterações da paisagem, bem como as diferentes necessidades de informações da superfície requeridas por diversos usuários, conduzem à utilização de sistemas computadorizados que otimizam a produção e atualização de mapas.

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel. Isto impedia uma análise mais detalhada que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade do século passado, da tecnologia de informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o surgimento do Geoprocessamento.

Neste contexto, o termo Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas temáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Geotecnia, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para o Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informações Geográficas (*SIG*), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de

dados georreferenciados. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

De acordo com Rodrigues (1988), o *Geoprocessamento* é tido como “a tecnologia de coleta e tratamento de informações espaciais e de desenvolvimento de sistemas que as utilizam”.

A introdução do Geoprocessamento no Brasil iniciou-se através do professor Jorge Xavier da Silva (UFRJ), no início dos anos 80.

Inúmeros pesquisadores possuem diversas definições para Sistema de Informações Geográficas. Alguns destes conceitos apresentam antigas definições e não citam todos os recursos disponíveis dos sistemas atuais.

Huxhold (1991) diz que o propósito de um SIG tradicional é primeiramente e acima de tudo a análise espacial. Portanto, a captura dos dados e produção cartográfica podem ser limitadas. A capacidade de análises dos dados apoia tipicamente a tomada de decisões para projetos específicos e/ou áreas geográficas limitadas. As características da base de dados cartográficos (exatidão, continuidade, completitude, etc.) são tipicamente apropriados para produção de mapas em pequena escala. Os dados podem estar disponíveis na forma vetorial ou *raster*. Entretanto, a topologia é geralmente a única estrutura de dados subjacente para análise espacial.

Segundo Tomlin (1990), um sistema de informação geográfica é um recurso para preparar, apresentar e interpretar fatos relativos à superfície da terra. Esta é uma definição ampla, porém, uma definição consideravelmente restrita é empregada mais frequentemente. Um sistema de informação geográfica ou SIG é uma configuração de *hardware* e *software* desenvolvida especificamente para a aquisição, manutenção e uso de dados cartográficos.

Star e Estes (1990), definem Sistema de Informação Geográfica como um sistema de informação que é concebido para trabalhar com dados referenciados por coordenadas geográficas ou espaciais. Em outras palavras, um SIG é um sistema de bases de dados com capacidades específicas para lidar com dados espacialmente referenciados, bem como um conjunto de operações para trabalhar com dados. De certo modo, um SIG pode ser pensado como mapa de ordem superior.

De acordo com o Instituto de Pesquisa de Sistemas Ambientais dos EUA (ESRI - 1992), um SIG é "um conjunto organizado de *hardware*, *software*, dados geográficos e pessoal, destinados a eficientemente obter, armazenar, atualizar, manipular, analisar e exibir todas as formas de informação geograficamente referenciadas.

O Sistema de Informação Geográfica é mais recomendado para a análise de dados geográficos diferindo de outros sistemas por definir as relações espaciais entre todos os elementos dos dados. Esta convenção é conhecida como topologia dos dados. A topologia também descreve como as feições lineares estão conectadas, como as áreas são limitadas, e quais áreas são contíguas.

De acordo com Marble (1984), Sistemas de Informações Geográficas são sistemas voltados à aquisição de dados, análise, armazenamento, manipulação e apresentação de informações referenciadas espacialmente.

Os Sistemas de Informações Geográficas surgiram há mais de três décadas e têm-se tornado uma ferramenta valiosa nas diversas áreas do conhecimento, constituindo um ambiente tecnológico e organizacional que tem, cada vez mais, ganho adeptos no mundo.

O surgimento do primeiro *SIG*, que se tem conhecimento, data do ano de 1964 no Canadá (*Canada Geographic Information System*) através de Roger Tomlinson, que embora tenha construídos os módulos básicos de software, impulsionando o desenvolvimento de hardware e elaborado uma complexa base de dados, só publicou seus trabalhos uma década depois.

Estes primeiros Sistemas de Informação Geográfica faziam parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de se utilizar: não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores necessários eram excessivamente caros, e a mão de obra deveria ser altamente especializada e assim caríssima. Não existiam soluções comerciais prontas para o uso, e cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas, o que demandava muito tempo e, naturalmente, muito dinheiro.

Na realidade, somente no final da década de 70 é que a indústria dos *SIGs* começou a amadurecer, favorecendo inclusive, no início dos anos 80, o surgimento da versão comercial dos primeiros sistemas, que passaram a ter aceitação mundial.

Entre o final da década de 80 e o início da década de 90, houve um crescimento acentuado das aplicações de *SIG's*, o que se deve, em parte, ao advento e à disseminação do microcomputador pessoal (*Personal Computer*), além da introdução de tecnologia de relativo baixo custo e alta capacidade de performance, tais como as estações de trabalho (*workstations*).

Segundo Antenucci et al. (1991), o Comitê Federal de Coordenação Interagências dos Estados Unidos define um *SIG* como um sistema de hardware,

software e procedimentos, projetado para apoiar a captura, gerenciamento, manipulação, análise e apresentação de dados, referenciados espacialmente, para solução de problemas complexos de planejamento e gerenciamento.

Segundo Silva (1994), um *SIG* utiliza funções para a ponderação de fatores nos cruzamentos de informações e mapas, permitindo a simulação de cenários em análises de risco, suscetibilidades e potencialidades.

Uma das características básicas do *SIG* é tratar relações espaciais entre objetos geográficos, como quando se pretende cruzar mapas ou informações espaciais. Para o procedimento desta prática é necessário que, no processo de integração, sejam consideradas as relações entre as classes de cada tema, as quais se denominam relações topológicas. Os mapas correspondem às informações espaciais georreferenciadas, planos de informações temas ou *layers*. As classes correspondem a polígonos e os objetos geográficos a pontos, linhas ou polígonos.

De acordo com Câmara (1993), as principais funções de um *SIG* são:

- integrar informações espaciais de dados cartográficos, censitários, e de cadastramento, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno, numa única base de dados;
- cruzar informações por meio de algoritmo de manipulação para gerar mapeamentos derivados;
- consultar, recuperar, visualizar e permitir saídas gráficas para o conteúdo da base de dados geocodificados.

A evolução da tecnologia *SIG*, segundo Câmara e Freitas (1995), demonstrada na tabela 2.1.2.1, aponta o aumento de interesse de usuários em redes locais e remotas de computadores, e o uso da *WWW – World Wide Web*.

GERAÇÃO	TECNOLOGIA	USO PRINCIPAL	AMBIENTE	SISTEMA
1 ^a 1983 – 90	CAD Cartografia	Desenho de Mapas	Projetos Isolados	Pacotes Separados
2 ^a 1990 - 97	Banco de Dados Imagens	Análise Espacial	Clinte-Servidor	Software Integrado
3 ^a 1997	Sistemas Distribuídos	Centro de Dados	Multi-Servidor WWW	Interoperabilidade

Tabela 2.1.2.1. - Evolução da tecnologia SIG (Câmara e Freitas, 1995).

O Sistema de Informações Geográficas não é simplesmente um *software* ou um pacote de funções que mostram um mapa digital na tela de um computador, mas deve ser visto como um sistema de apoio à tomada de decisões, bem como um sistema de gerenciamento de informações.

O Sistema de Informações Geográficas permite várias aplicações no campo do Mapeamento Geotécnico. Estas aplicações proporcionam a elaboração de mapas temáticos, cartografia geotécnica, modelagem numérica de terrenos para análise de risco, avaliação geotécnica e gerenciamento ambiental.

Souza (1992), visando a automação do mapeamento geotécnico, propôs modelos para a estrutura dos dados cartográficos digitais e para as informações de campo e de laboratório, em fichas codificadas para banco de dados. Foram apresentados critérios de avaliação geotécnica para a utilização em *SIG*, como índices de ponderação de atributos, na integração de dados, para os temas de: erosão, assoreamento, inundações, movimento de massas, análise da suscetibilidade a processos do meio físico, disposição de resíduos, implantação de loteamento, estradas e barragens rurais, fundações, escavabilidade e aptidão em recursos hídrico e em materiais de construção civil.

A aplicação do *SIG* na obtenção da área de influência de determinada característica foi utilizado por Costa et al. (1994). Foi utilizado o *software SGI* (INPE) para a obtenção do mapa de erosão efetiva das bacias dos rios Tietê e Pinheiros, na Região Metropolitana de São Paulo, a partir da integração de modelos do meio físico e do uso e ocupação do solo. Foi possível obter, através do SGI, as áreas correspondentes

à subbacias e bacias com exposição de solo e movimento de terra, correspondente às áreas fontes de sedimentos.

A MINEROPAR (1994) elaborou o mapeamento geotécnico da área que inclui a Região Metropolitana de Curitiba, utilizando a metodologia proposta por Zuquette (1987). Sua obtenção envolveu a combinação de atributos, como tipo de solo, profundidade do lençol freático e declividade.

Um dos aspectos mais importantes do uso das geotecnologias é o potencial dos *SIGs* em produzir novas informações a partir de um banco de dados geográficos. Tal capacidade é fundamental para aplicações como ordenamento territorial, estudos de impacto ambiental, e outros casos em que a informação final deve ser deduzida e compilada a partir de levantamentos básicos.

Combinar dados e gerar informações novas é um dos maiores desafios do uso das geotecnologias. A razão principal é que os procedimentos metodológicos de análise geográfica tradicional são, na maior parte dos casos, inadequados para o uso no ambiente computacional.

Teixeira et al. (1992), faz uma definição completa do funcionamento dos Sistemas de Informações Geográficas e seu respectivo banco de dados, dizendo que *SIGs* são constituídos por uma série de programas e processos de análises, cuja característica principal é focalizar o relacionamento de determinado fenômeno da realidade com sua localização espacial. Utilizam uma base computadorizada de dados que contém informação espacial, sobre a qual atuam uma série de operadores espaciais. Os *SIGs* baseiam-se numa tecnologia de armazenamento, análise e tratamento de dados espaciais, não-espaciais e temporais e na geração de informações correlatas.

Os *SIGs* comportam diferentes tipos de dados e aplicações, em várias áreas do conhecimento. Exemplos são otimização do tráfego, controle cadastral, gerenciamento de serviços de utilidade pública, cartografia em geral e outros. A utilização de *SIGs* facilita a integração de dados coletados de fontes heterogêneas, de forma transparente ao usuário final.

As definições de *SIGs* refletem, cada uma à sua maneira, a grande variedade de usos e visões possíveis desta tecnologia. Duas características podem ser apontadas como principais em um sistema de Informações Geográficas:

- tais sistemas possibilitam a integração, em uma única base de dados, de informações geográficas provenientes de fontes diversas tais como dados

cartográficos, imagens de satélites, modelos numérico do terreno, gráficos em geral, etc.

- os *SIGs* oferecem mecanismos para recuperar, manipular e visualizar estes dados, através de algoritmos de manipulação e análise.

As funções de processamento são naturalmente dependentes dos tipos de dados envolvidos. A análise geográfica engloba funções como superposição de mapas, ponderação, medidas (área perímetro).

2.1.2. Conceitos Utilizados em Sistema de Informações Geográficas

Para a utilização de um Sistema de Informações Geográficas no mapeamento geotécnico do norte do estado do Rio Grande do Sul, foi necessária o conhecimento de vários conceitos de SIG. Para uma melhor caracterização e entendimento de como é realizado o tratamento e manipulação dos dados, alguns conceitos são apresentados.

a) Mapas Temáticos

Os mapas temáticos são mapas que mostram uma região geográfica particionada em polígonos, segundo os valores relativos a um tema (por exemplo, uso do solo, unidades geológicas, aptidão agrícola). Os valores dos dados são geralmente inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens.

b) Topologia

A topologia, segundo Burrough (1994), é a maneira pela qual diferentes elementos gráficos são relacionados entre si, pois em princípio todas as informações geográficas podem ser reduzidas a três conceitos topológicos básicos: ponto, linha e área.

No Sistema de Informações Geográficas, a topologia é de grande importância em razão de muitas operações não necessitarem de coordenadas, apenas de informações topológicas.

Para este trabalho, o sistema de informações armazena dados para o mapa utilizando uma representação topológica, onde as arestas determinam os limites das regiões.

Para definir a topologia do mapa, o *SIG* utiliza uma estrutura de dados especial, empregando nós (*nodes*) arcos (*lines*) e áreas (*polygons*). O *SIG* também contém dados atributos, além de dados geométricos espaciais, os quais são associados com os elementos topológicos, provendo maiores informações descritivas. Por permitir acesso a ambos os dados (espaciais e atributos), ao mesmo tempo, o *SIG* possibilita buscar o dado atributo e relacioná-lo com o dado espacial e vice-versa.

c) Atributos

De acordo com Burrough (1994), em um Sistema de Informações Geográficas, os atributos são informações não gráficas associadas a elementos representados por pontos linhas ou áreas.

São considerados características de uma feição geográfica descritas através de números ou caracteres, e em sua maioria arquivada em formato tabular e ligada à feição (ArcView, 1996).

Para esta dissertação, utiliza-se os atributos das unidades geotécnicas (representada por polígonos), para descrever o comportamento do solo em tabelas de resultados de ensaios geotécnicos.

d) Objetos Cartográficos e Matriciais

Meneguette (2000), define objetos cartográficos como sendo os componentes geométricos básicos da cartografia e dos bancos de dados do *SIG* que definem três entidades geométricas fundamentais - pontos, linhas e áreas. O *Comitê Nacional Norte Americano para Padrões de Dados Cartográficos Digitais* definiu uma terminologia padrão e definições para objetos cartográficos e matriciais demonstrado na figura seguinte 2.1.2.1:

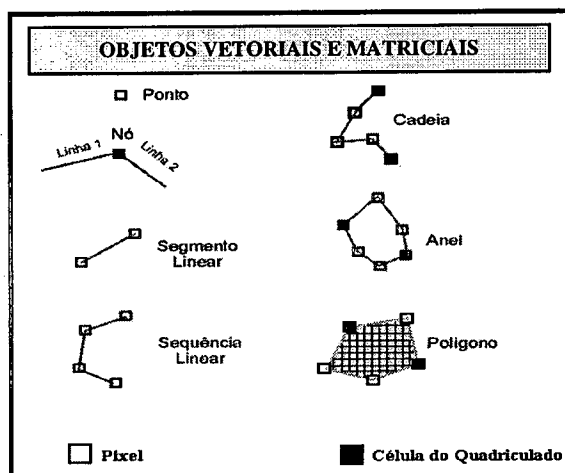


Fig. 2.1.2.1. - Objetos vetoriais.

Objetos Vetoriais:

- Ponto (*Point*) - um objeto adimensional especificando localização geográfica por um conjunto de coordenadas.
- Nó (*Node*) - um objeto adimensional servindo como junção topológica a uma linha ou como ponto extremo (inicial ou final).
- Segmento Linear (*Line segment*) - uma linha reta entre dois pontos.
- Sequência Linear (*String*) - uma sequência de segmentos lineares sem nós.
- Cadeia (*Chain*) - uma sequência de segmentos lineares com nó inicial e nó final.
- Anel (*Ring*) - uma sequência de cadeias ou sequências lineares que formam uma poligonal fechada.
- Polígono (*Polygon*) - um anel e sua área interna.

Objetos Matriciais:

- Elemento Matricial (*Pixel*) - um elemento bidimensional que é a menor parte não divisível em uma imagem.
- Célula do Quadriculado (*Grid cell*) - um objeto bidimensional representado num elemento de uma tesselação regular da superfície.

e) Tabela de Feições

Caracteriza-se por representar uma tabela ligada ao mapa que arquiva informações sobre o conjunto de feições (linhas da tabela) deste mapa.

Nesta dissertação considerou-se a criação de uma tabela de feições bem estruturada, para que seja possível a criação e adição de novos campos (*shape*) visando a implementação do banco de dados geotécnicos em trabalhos futuros.

f) Dados Vetoriais

São dados representados por pontos e linhas que possuem registros de informação espacial caracterizados por coordenadas (x,y) em um sistema de coordenadas plano.

Na realidade, nesta dissertação não foram necessárias as definições de “*Pixel*” e “*Raster*” que antecedem aos dados vetoriais. Isto se deve em razão da etapa de digitalização do mapa estar concluída, tornando-se desnecessário tais definições.

2.1.3. Sistema de Informações Geográficas ArcView GIS

Para unir o mapeamento geotécnico do norte do estado do Rio Grande do Sul com um banco de dados geotécnicos, o software de Sistema de Informações Geográficas escolhido foi o ArcView GIS.

No tratamento das Informações cartográficas, vários *softwares* contendo mapas digitalizados podem ser utilizados para a construção do sistema, podendo-se utilizar, até mesmo, o próprio *software* para esta etapa de digitalização.

O banco de dados pode ser relacionado a diversos tipos de informações como fotos, tabelas, figuras, gráficos, pequenos vídeos, entre outras, contidas em um banco de dados próprio. Este arquivo pode ser acessado quando a feição é selecionada, através da localização do mesmo dentro de um diretório.

A estruturação das informações gráficas e de banco de dados segue a seguinte forma demonstrada na figura 2.1.3.1 Segundo Duarte (1999), a integração da informação espacial refere-se à utilização do programa de *SIG* para armazenar os dados geotécnicos da localidade, processar os dados geográficos, gerar novas informações e possibilitar a visualização dos resultados.

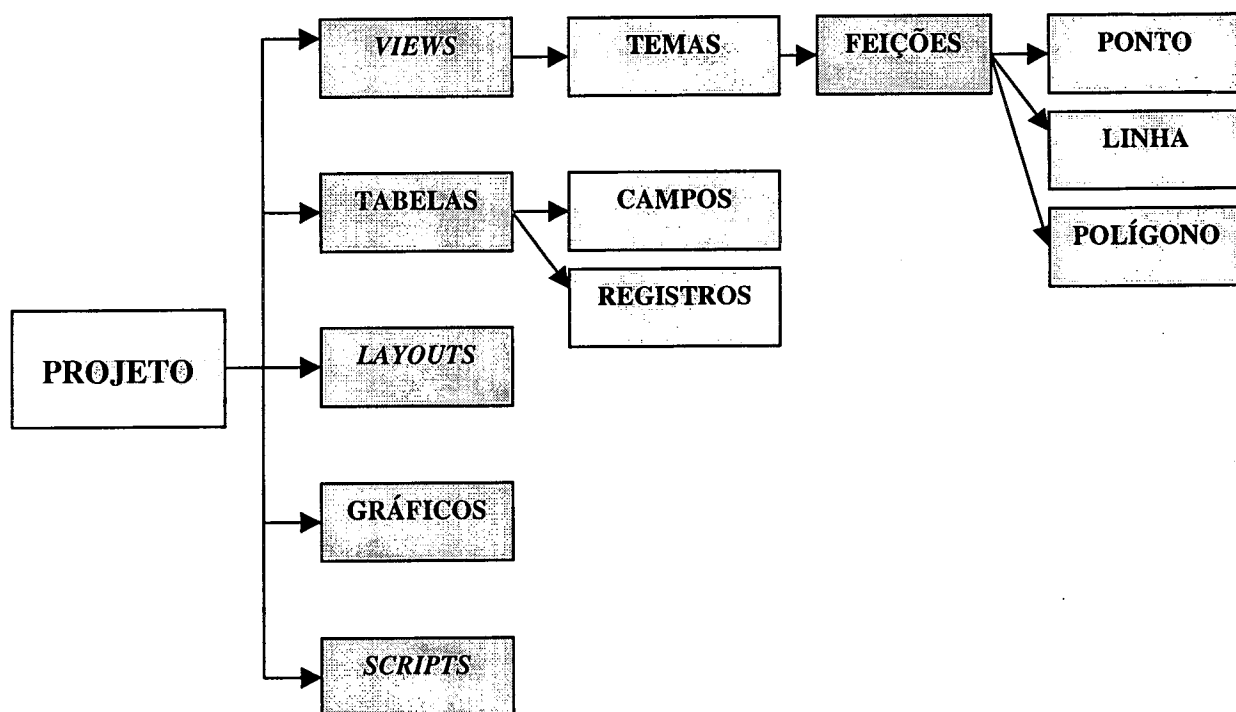


Figura 2.1.3.1. – Estruturação de organização das informações no ArcView.

Na prática, parte da estruturação das informações no ArcView pode ser demonstrada na figura 2.1.3.2. O exemplo mostra uma *view*, gráfico, *script*, *layout* e atributos em tabela de um país e seus estados.

A razão mais importante na seleção do *software* a ser utilizado nesta pesquisa, foi a interface entre o usuário e o sistema de informações que o mesmo apresentou. A inserção de dados no sistema não consiste em uma tarefa muito simples, porém o acesso ao banco de dados geotécnicos após o trabalho finalizado, caracteriza a grande vantagem deste software.

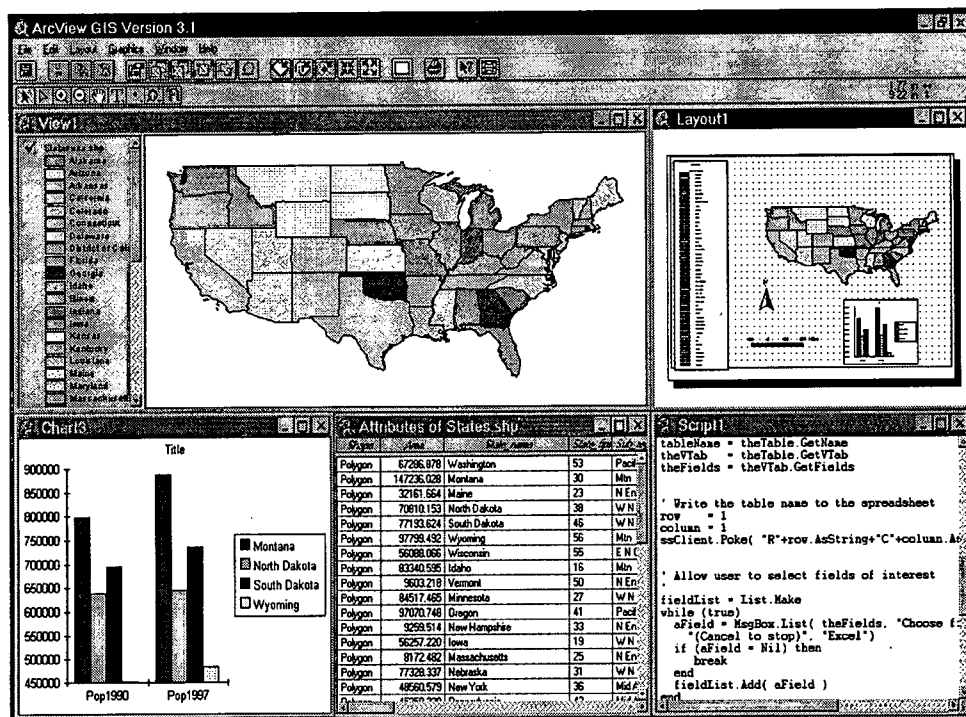


Figura 2.1.3.2. – Exemplo de estruturação de organização das informações no ArcView (ArcView, 1992).

2.1.4. Tratamento de Dados

Com o objetivo de caracterizar melhor a localidade e mais especificamente as unidades geotécnicas através de resultados de ensaios geotécnicos, observou-se que a quantidade de dados obtidos e armazenados nesta pesquisa foi muito grande.

O tratamento destes dados, foi realizado utilizando-se ferramentas do *software* empregado, a fim de determinar com mais exatidão alguns parâmetros desejados na pesquisa.

A funcionalidade esperada de um *SIG*, em relação a manipulação de dados e resultados finais, varia de forma intensa em função da área de aplicação e da escala trabalhada. Por esta razão deve-se atentar ao fato de que as unidades geotécnicas são estimativas de unidades e não devem substituir os ensaios laboratoriais e de campo.

2.2. BANCO DE DADOS GEOTÉCNICOS

2.2.1. Banco de dados

Um Sistema de Banco de Dados consiste em uma coleção de dados interrelacionados e uma coleção de programas para prover o acesso a estes dados.

Sistema Gerenciador de Banco de dados (SGDB) é o *software* responsável pelo gerenciamento dos dados no banco de dados. O objetivo principal de um SGDB é prover um ambiente que seja adequado e eficiente para uso na recuperação e armazenamento de informações.

Goodchild e Kemp (1990) conceituam Sistemas de Banco de Dados como sendo uma coleção de dados não redundantes, que podem ser compartilhados através de sistemas de diferentes aplicações.

De acordo com Date (2000), um Sistema de Banco de dados é basicamente um sistema computadorizado de armazenamento de registros, isto é, um sistema computadorizado cujo propósito geral é armazenar informações e permitir ao usuário buscar e atualizar estas informações quando solicitado. As informações em questão podem ser qualquer coisa que tenha significado para o indivíduo ou a organização a que o sistema deve servir, em outras palavras, tudo o que seja necessário para auxiliar no processo geral de tomadas de decisões de negócios desse indivíduo ou dessa organização.

Segundo Date (2000), o sistema de banco de dados envolve quatro componentes principais: dados, *hardware*, *software* e usuários. A figura 2.2.1.1. mostra, de forma simplificada, um sistema de banco de dados.

Um banco de dados é uma coleção de dados persistentes utilizadas pelo sistema de aplicação de uma determinada organização (empresa, organização comercial, científica ou técnica). Diz-se que os dados persistentes são tipos de dados que só podem ser removidos subsequentemente do banco de dados por alguma solicitação explícita ao SGBD.

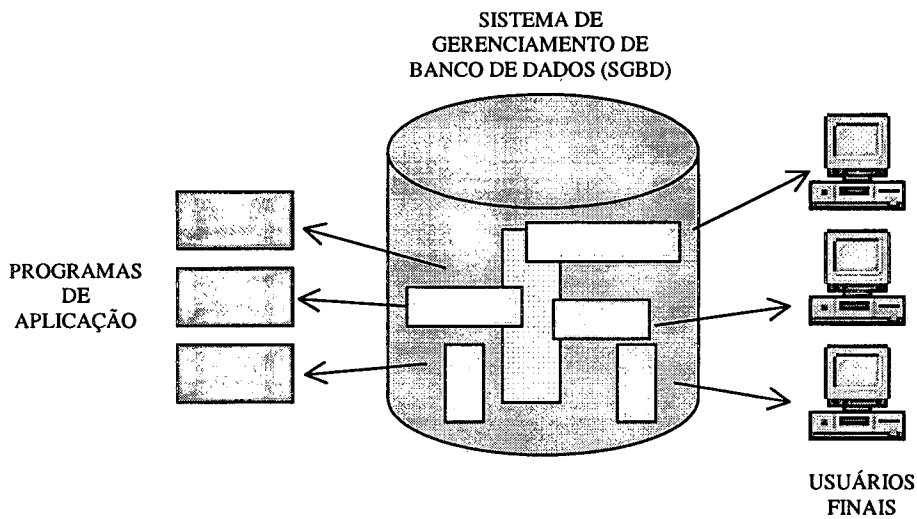


Figura 2.2.1.1. Representação simplificada de um sistema de banco de dados (Date, 2000).

Devido ao grande volume de dados envolvidos em uma determinada operação, os Sistemas de Banco de Dados foram concebidos com o objetivo de gerenciar tais quantidades de informação.

O gerenciamento dos dados envolve tanto a definição de estruturas para armazenamento como a provisão de mecanismos para manipulação.

Um banco de dados representará sempre aspectos do mundo real. Assim sendo, uma *base de dados* (ou Banco de Dados, ou ainda BD) é uma fonte de onde pode-se extrair uma vasta gama de informações derivadas, que possui um nível de interação com eventos como o mundo real que representa.

Segundo Oliveira e Brito (1998) os bancos de dados possuem características específicas para armazenamento de dados, consulta por parâmetros isolados ou combinados, manipulação numérica de dados, etc.

Date (2000) lista, de uma maneira generalizada, algumas vantagens da utilização de banco de dados.

- Densidade: não há necessidade de arquivos de papel, possivelmente volumosos;
- Velocidade: as consultas podem ser respondidas com rapidez sem qualquer necessidade de pesquisas manuais ou visuais demoradas;
- Dados atualizados: informações precisas e atualizadas estão disponíveis a qualquer momento sob consulta;

- Dados compartilhados: o compartilhamento significa não apenas que as aplicações existentes podem compartilhar os dados do banco de dados, mas também que podem ser desenvolvidas novas aplicações para operar sobre os mesmos dados;
- Atualização: facilidade de inclusão e atualização de dados continuamente.

No tratamento das informações inseridas em um banco de dados, não deve ser considerada apenas a estrutura interna do mesmo. É necessário que não apenas dados de qualidade sejam inseridos em seu sistema, mas também um número razoável de informações.

Goodchild e Kemp (1990) listam vantagens e desvantagens, relacionadas à quantidade e qualidade de informações contidas, dos sistemas de bancos de dados.

- redução da redundância de dados ;
- redução do problema de inconsistências em informações armazenadas. Por exemplo, endereços diferentes em departamentos diferentes para o mesmo cliente;
- manutenção de integridade de dados;
- podem ser armazenadas informações sobre o significado ou interpretação dos dados no banco de dados;
- os dados têm que seguir modelos prescritos, regras, padrões, etc.;
- o acesso de dados é fácil através de atributo chave, mas difícil através de outros atributos;
- no caso geográfico, é fácil achar registro dado seu nível geográfico (estado, município, cidade, área de censo), mas difícil achar para outro atributo qualquer;
- o uso efetivo de soluções de administração de banco de dados requer um nível alto de conhecimento de estrutura interna por parte do usuário;

2.2.2. Banco de dados geotécnicos

Devido ao grande número de dados e informações envolvidos em uma análise geotécnica, é de grande importância o desenvolvimento de uma estrutura que possibilite a armazenagem de dados e a integração de um banco de dados para determinados propósitos.

O banco de dados geotécnico, além de manter todo um volume de dados organizado, também permite atualizações, inclusões e exclusões de volume de dados, sem nunca perder a consistência.

Serra Júnior et al. (1993) descreveram um sistema, em fase de desenvolvimento no IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, para armazenar as informações de sondagens e alguns tipos de ensaios de campo e laboratório. O sistema deverá ter funções muito amplas, como efetuar análises estatísticas e geoestatísticas dos dados, desenhar seções geológicas, etc.

Genovis et al. (1990) relatam a estrutura de um banco de dados, já organizado e em funcionamento, com informações geotécnicas da cidade de Recife. Mais de três mil ensaios estavam cadastrados.

Existem vários *softwares* de banco de dados disponíveis no mercado e que estão sendo utilizados para a armazenagem de banco de dados geotécnicos. Oliveira e Brito (1998) destacam alguns sistemas de banco de dados que utilizam-se de ferramentas de análise estatística ou geoestatística das informações.

SAS: software destinado a análises estatísticas, distribuído pelo *SAS Institute, Inc., Cary, NC, USA*;

GEOQUANT: conjunto de programas para análises uni e multivariadas, desenvolvido pela CPRM, Rio de Janeiro;

GEO-EAS: realiza análises estatísticas uni e bivariadas e geoestatística básica 2D, desenvolvido pela *US Environmental Protection Agency*;

GSLIB: biblioteca de programas com subrotinas em linguagem *fortran*, desenvolvido na Universidade de Stanford.

Segundo Gane (1983) para a escolha do programa gerenciador do banco de dados é considerada a facilidade de uso e a divulgação do mesmo na comunidade científica.

Para que o acesso seja facilitado, o banco de dados está, geralmente, associado a um *Sistema de Informação Geográfica*. Desta forma, a mesclagem de dados, resultados e geração de gráficos das planilhas possibilita uma maior liberdade e rapidez na análise e busca de resultado e correlações gráficas.

O *Sistema de Informações Geográficas* pode abrigar vários tipos de dados. Informações, como pontos de coleta de amostragem, polígonos que podem representar áreas de unidades geotécnicas, linhas que representam estradas, curvas de nível, etc. Um

esquema das informações que um banco de dados geográfico pode conter é apresentado na figura 2.2.2.1.

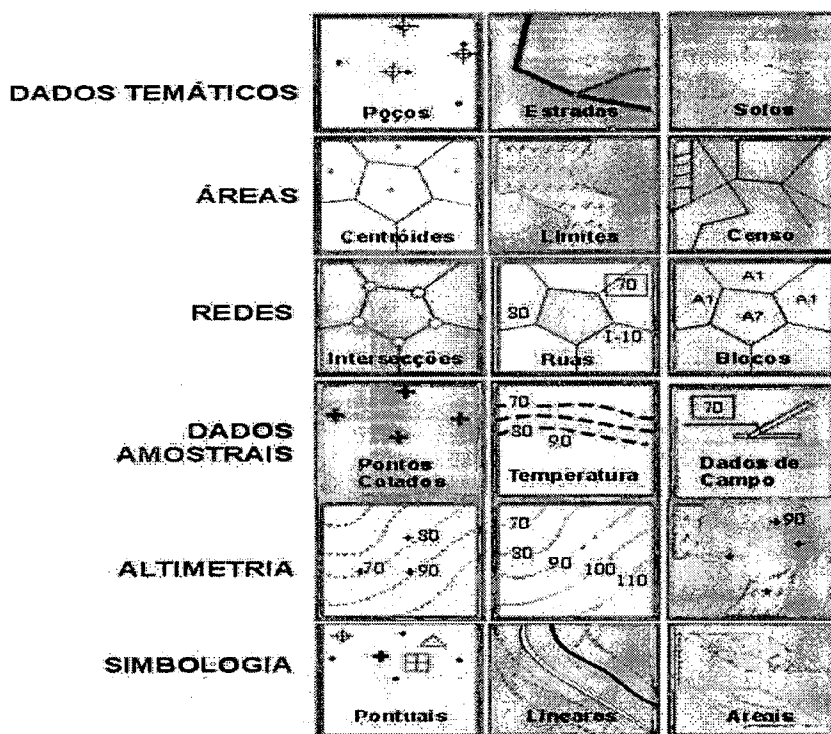


Fig. 2.2.2.1. – Composição do banco de dados.

A fim de que se consiga um maior desempenho do *SIG*, é necessário definir métodos e procedimentos de entrada, processamento e saída de dados, de tal forma que:

- os dados inseridos na base de dados atendam aos padrões previamente estabelecidos;
- seja evitada a redundância das informações;
- o uso dos equipamentos envolvidos no processo seja otimizado;
- os trabalhos apresentem organização interna;
- os produtos das informações decorrentes do processo sejam condizentes com as necessidades de informação dos usuários.

Alguns trabalhos de estruturação de bancos de dados geotécnicos estão sendo efetuados no sul do Brasil.

Um banco de dados por meio de geoprocessamento para a elaboração de mapas geotécnicos tendo como objetivo a análise do meio físico e suas interações com a mancha urbana de Porto Alegre foi realizado por Valente (1999).

Guaresi e Teixeira (2001) desenvolveram um banco de dados de ensaios de campo SPT do município de Tubarão, em Santa Catarina, para uma melhor caracterização dos tipos de solos existentes na região.

Maceno e Soares (2001) realizaram um estudo de fundações baseado em sondagens SPT realizadas nos terminais de integração de Florianópolis, onde um banco de dados contendo resultados de perfis de solos foi apresentado.

O software utilizado como banco de dados no presente trabalho é o *Arcview - ESRI*. Pretende-se que através deste banco de dados geotécnicos as unidades geotécnicas presentes na região sejam localizadas e, consequentemente, os solos do norte do estado do Rio Grande do Sul sejam caracterizados de forma mais clara e ampla.

Inúmeros pesquisadores desenvolveram metodologias diferentes com o objetivo de mapear o comportamento dos solos. Alguns destes métodos pioneiros estão relacionados a seguir:

- Método de Moldenhawer: de 1919, baseado na conversão da carta geológica da Vila de Dantzig em uma carta geotécnica. Este método tem grande valor histórico, pois embasou as técnicas modernas;
- Esquema Groschopf: trabalho realizado em 1951, na região de Ulm, com o propósito de caracterizar principalmente, um tipo de representação gráfica. O mapa geológico apresenta os materiais aflorantes, representados por cores e o substrato rochoso, por letras. Outras cartas também foram incluídas como as diferentes taxas de trabalho do solo e a velocidade de recalque do solo.
- Metodologia Gwinner: primeiro pesquisador a pensar em termos de unidades geotécnicas. Entre as unidades expressas em zonas, pode-se citar:
 - zonas de fundações diretas sem recalques;
 - zonas onde a consistência e a compacidade aumentam com a profundidade;
 - zonas de terrenos soltos ou com alternância de camadas duras e brandas;
 - zonas com possíveis escorregamentos;
 - zonas não diferenciadas.

Kopezinski (2000) demonstra, em uma tabela, uma série de metodologias de mapeamento geotécnico em todo o mundo (tab. 2.3.2.1).

METODOLOGIA	ESCALA	FINALIDADE	CONTEÚDO	UTILIZAÇÃO	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS E ROCHAS
IAEG (Internacional)	<1:100.000 >1:10.000	Específica Multifinalidade	Analítico Abrangente Auxiliar Complementar	Planejamento urbano e regional	- Suíte litológica - Complexo litológico - Tipo litológico - Tipo geotécnico
Francesa	Regional Local <1:100.000 >1:2.000	Específica Regional	Analítico Sintético	Planejamento urbano e regional	- Sem classe taxonômica
PUCE (Austrália)	Qualquer <1:2.500.000 >1:2.500	Específica Regional	Analítico Sintético	Planejamento urbano e regional	- Província - Padrão - Unidade - Componente
Britânica (inglesa)	>1:10.000 <1:2.500	Específica Multifinalidade	Analítico Sintético	Planejamento urbano e regional	-
Russa	<1:100.000.000 >500.000	Específica Regional	Analítico Sintético	Planejamento urbano e regional	- Composição genético estratigrafia - Composição litogenética
Hinojosa e Leon	<1:1.000.000 >500.000	Específica	Analítico	Planejamento e projeto de estradas	- Litogrupos - Morfoáreas - Unidades morfodinâmicas
ZERMOS	>1:50.000	Específica	Analítico: - cartas - plantas	Movimento de massa (planejamento)	- Ficha técnica (croqui esquemático)
Espanhola	>1:200.000 <1:2.000	Específica Regional	Analítico Sintético	Planejamento regional e territorial	- Mapa geotécnico geral - Mapa geotécnico básico - Mapa geotécnico substrato rocha - Mapa geotécnico específico
USA (Kiefer)	Regional e local	Específica Regional	Analítico Sintético	Planejamento urbano e regional	- Mapa obtenção - Mapa engenharia - Mapa interpretação - Mapa planejamento
Canadá	Regional e local	Específica Multifinalidade	Analítico Sintético	Planejamento urbano e regional	- Atributos básicos

Tabela 2.3.2.1. - Principais metodologias de mapeamento geotécnico, segundo Kopezinski (2000).

A história do mapeamento geotécnico no Brasil, apesar de tratar-se de um mapa geológico, inicia-se em 1907 com o primeiro documento de geologia aplicada as obras de engenharia, que se referia ao prolongamento da estrada de ferro Nordeste do Brasil.

A partir destas pesquisas, pioneiras no mapeamento geotécnico, outros pesquisadores desenvolveram metodologias diversas para tentar mapear, compreender e mensurar o comportamento geomecânico dos solos.

2.3.3. Metodologias de Mapeamento Geotécnico

Inúmeras metodologias em diferentes países foram criadas com um único fim, o mapeamento geotécnico. Contribuições significativas têm sido desenvolvidas através dos anos em nosso país.

- Metodologia do Instituto de Geologia da UFRJ, que pode ser consultada em Barroso (1989) e Barroso et al. (1996);
- Metodologia do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo;
- Proposta de Zuquette (1987);
- Metodologia desenvolvida na UFRGS por Davison Dias (1987).

Na realização do Mapeamento Geotécnico da Folha de Cosmópolis-SP, Gruber (1993) apresenta uma metodologia de mapeamento geotécnico para o planejamento urbano onde considera a diferenciação das metodologias utilizadas em outros países e em outras regiões. Relata ainda que estas metodologias possuem características próprias para aplicações nas áreas onde foram produzidas. Verifica também, com base em Zuquette (1987), uma proposta que pudesse vir a contribuir com a área de mapeamento geotécnico considerando na sua elaboração a relação custo/benefício sem prejuízo do nível técnico, voltado para a realidade deste país.

Zuquette e Pejon (1995) ressaltam a importância da escala de trabalho adequada e do nível de detalhamento dos atributos relacionados a finalidade do levantamento. Destacam, também, a importância de um documento gráfico e memoriais descritivos tornando-os de maior aceitação e utilidade.

Foram criadas também metodologias de mapeamento geotécnico visando o uso e ocupação do meio por obras de engenharia, como as apresentadas a seguir:

- Metodologia UNESCO (1976): considera os seguintes princípios de classificação de solos e rochas para mapeamento geotécnico: tipo litológico; complexo litológico, suíte litológica e tipo geotécnico;
- Metodologia utilizada em São Carlos: baseada na metodologia de Zuquette (1987) onde são definidas as seguintes etapas: levantamento e análise de informações anteriormente produzidas; reconhecimento de atributos e identificação das unidades homogêneas. São utilizados mapas topográficos, geomorfológicos e outros, sondagens e fotos aéreas. Com base em todas estas informações, é construído um mapa preliminar de unidades homogêneas;
- Metodologia utilizada no sul do Brasil: baseia-se na metodologia proposta por Davison Dias (1995), onde os mapas geológico e pedológico são utilizados para a formulação de unidades geotécnicas com estimativas de comportamento geomecânico.

Uma ferramenta importante no Mapeamento Geotécnico consiste na utilização da pedologia para o conhecimento das unidades geotécnicas.

Alguns pesquisadores utilizam-se desta ferramenta como acessório na formulação, porém poucos exploram esta ciência para uma melhor caracterização do comportamento geomecânico dos solos.

O uso da pedologia associada à geologia e à topografia, contribuindo para a interpretação dos resultados laboratoriais obtidos de amostras de solos com perfis identificados pela pedologia é abordado por Yoder e Witczack (1975).

Em sua tese de doutorado, Davison Dias (1987) desenvolveu trabalhos de campo baseados em conhecimentos de pedologia, onde expõe uma metodologia de estudos de solos para fundações de torres de transmissão de energia elétrica, compreendendo a identificação de unidades geotécnicas a partir da união do mapa de solos ao geológico, topografia e ensaios geotécnicos de campo e laboratório.

A normalização de uma metodologia para o mapeamento geotécnico foi publicada pela Unesco – IAEG (1976), porém, o que se verifica na realidade, é que cada país ou região, tem optado por metodologias próprias, com objetivo de sanar dificuldades relacionadas ao seu meio físico e que vão de encontro com a realidade e a necessidade de seus problemas.

2.3.4. Metodologia de Mapeamento Geotécnico Empregada no Sul do Brasil

As aplicações em engenharia utilizam os solos com os cuidados relacionados ao comportamento mecânico dos mesmos, notando que, na maioria das situações, o horizonte superficial (A) é removido. Desta forma, os horizontes de maior utilização e cuidado para obras de engenharia são os B e C.

Países de clima tropical e subtropical, como o Brasil, apresentam perfis profundos de solo, evidenciando a necessidade da utilização da pedologia nos estudos geotécnicos.

As pesquisas desenvolvidas por Davison Dias (1985, 1987, 1989 e 1993), permitiram o desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento geotécnico de grandes áreas, para os solos tropicais.

Esta metodologia demonstra ser uma forma abrangente, para que se formulem estimativas de unidades geotécnicas, com o objetivo de prever o comportamento do solo relacionando-o com a sua gênese.

É considerada, nesta técnica, a pedogênese em conjunto com a geologia, como indicadora de comportamento dos mesmos.

Em suma, a metodologia utiliza-se principalmente do cruzamento dos mapas Geológico e Pedológico para que se obtenha um terceiro mapa de estimativa de comportamento dos solos, o mapa geotécnico como mostra a figura 2.3.4.1.

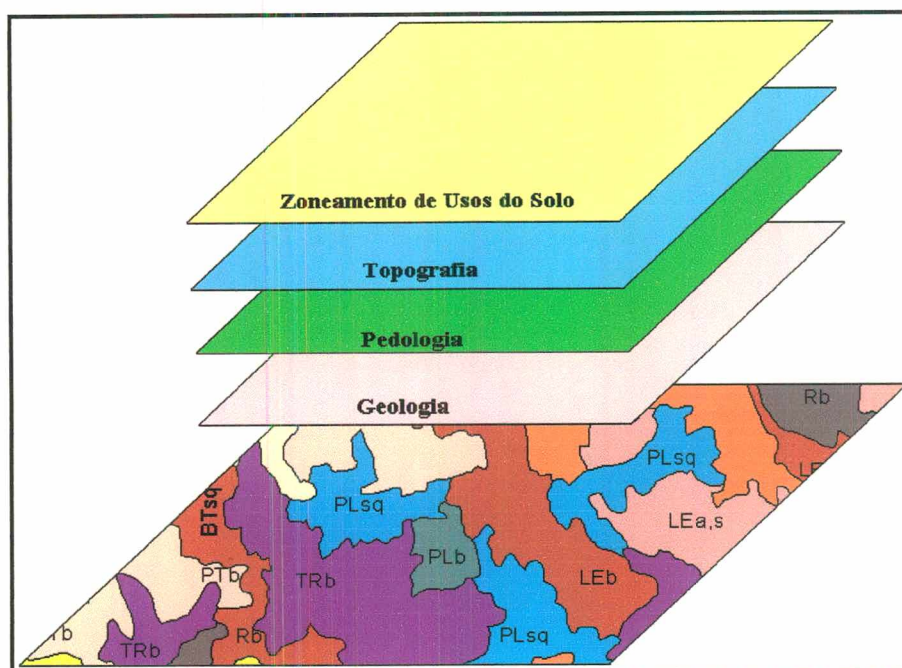


Figura 2.3.4.1. - Cruzamento entre os mapas pedológico e geológico.

Vários trabalhos, dissertações e teses adotaram esta metodologia de mapeamento geotécnico como base de suas pesquisas.

Santos (1997) analisou o uso e ocupação do solo da cidade de Florianópolis com base na metodologia do Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas.

Bastos (1991) realizou o mapeamento da região de Porto Alegre e caracterização a geomecânica das unidades geotécnicas dos solos oriundos dos granitos, gnaisses e migmatitos.

Visando a ocupação urbana da bacia da Lagoa da Conceição em Florianópolis, Duarte (1999) empregou a metodologia com o auxílio de um *software* de Sistema de Informações Geográficas.

Abitante (1997), para digitalizar um trecho do meio oeste catarinense, utilizou a metodologia com a finalidade de fundamentar pesquisas no emprego de solos tropicais visando obras rodoviárias.

Dassoler da Silva (2000) utilizou a metodologia de mapeamento geotécnico de grandes áreas para o mapeamento da Bacia do Itacorubi em Florianópolis, adicionando ao seu mapa digital resultados de sondagens SPT para melhor caracterização do solo.

O mapa geotécnico da cidade de Florianópolis foi transformado para o meio digital por Lima Jr. (1997) visando futuras aplicações em *SIG*.

Valente (1999) utilizou, além de geoprocessamento, a mesma metodologia no mapeamento geotécnico de Porto Alegre.

Esta técnica de mapeamento geotécnico comprovada por inúmeros trabalhos, estudos e práticas de campo, constitui a base geotécnica para o desenvolvimento da metodologia proposta no presente trabalho.

Atualmente, sabe-se que o conhecimento da pedogênese associada à geologia possui grandes aplicações no campo da geotecnia, seja em solo sedimentar tropical ou subtropical.

2.3.4.1. Estimativa das Unidades Geotécnicas

A estimativa de unidades geotécnicas apresenta-se baseada de acordo com a geologia. Ensaio geotécnicos, tanto laboratoriais quanto os de campo, apresentam resultados pontuais, de acordo com a necessidade da utilização específica de uma determinada área para a engenharia. As unidades geotécnicas desta metodologia

baseiam-se em conhecimento pedológico, geológico e topográfico. A classificação de uma unidade é estimada seguindo a simbologia apresentada na figura 2.3.4.1.1, onde em um determinado perfil de solo a pedologia é considerada de cima para baixo, desde suas camadas superficiais, e a geologia de baixo para cima.

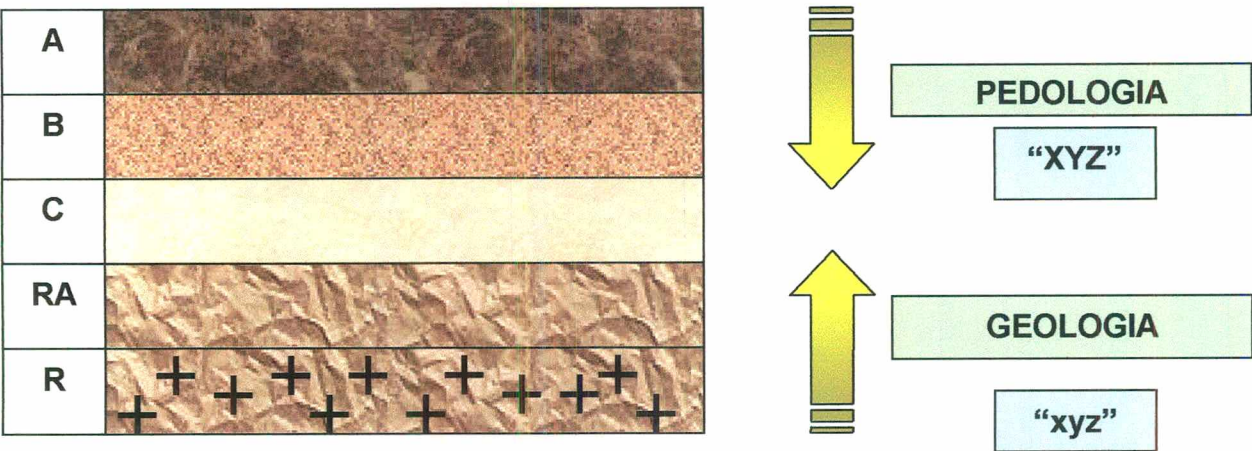


Figura 2.3.4.1.1. – Simbologia de unidades geotécnicas segundo Davison Dias et al. (1987).

A figura 2.3.4.1.2 mostra uma pequena área mapeada no norte do estado do Rio Grande do Sul com o emprego de sua respectiva simbologia de unidades geotécnicas.

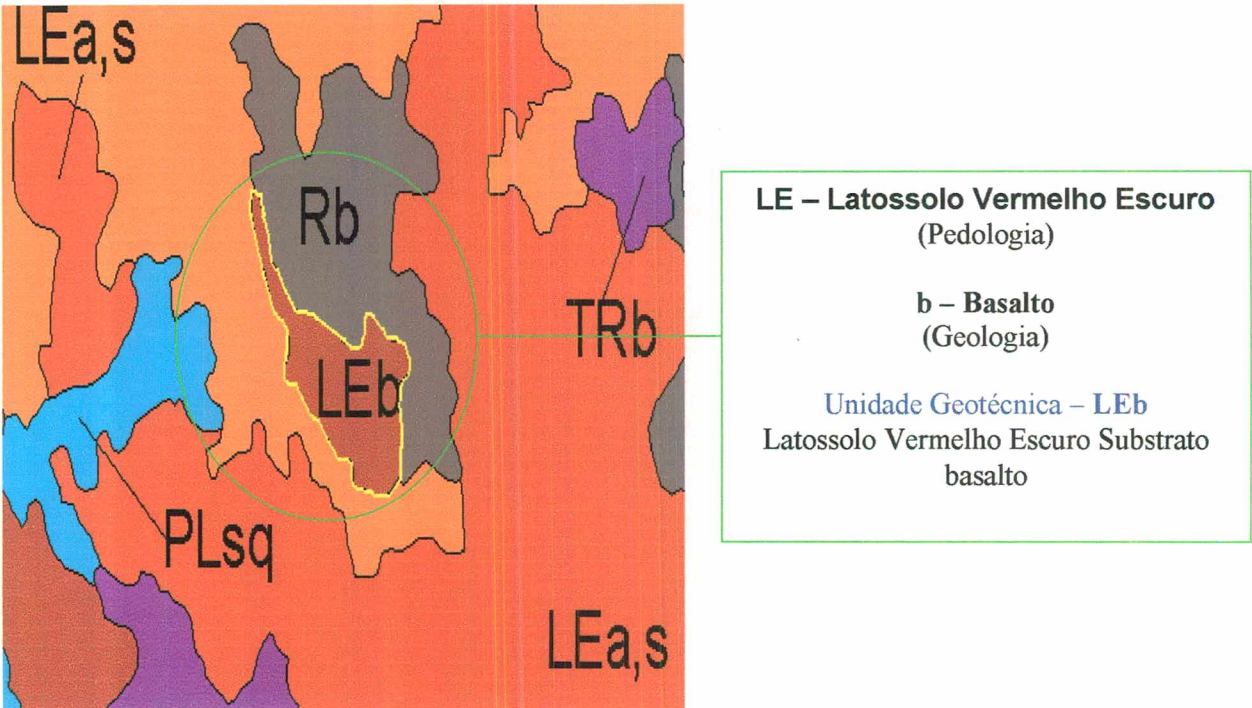


Figura 2.3.4.1.2 – Exemplo do emprego da simbologia de unidades geotécnicas no norte do estado do Rio Grande do Sul.

As letras maiúsculas “XYZ” correspondem à classificação pedológica dos horizontes superficiais (horizonte A e B) e as minúsculas “xyz” são identificadoras da geologia caracterizando os horizontes C, RA e R. Na classificação geológica é utilizada a rocha dominante. No caso de haver mais de uma litologia dominante no material do substrato, adotam-se siglas destas litogias em letras minúsculas separadas por vírgulas.

De acordo com a metodologia usada no sul do Brasil, as tabelas seguintes representam a simbologia simplificada das classes pedológicas, seus horizontes e geologia.

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
A	Aluviais	P	Podzois Indiscriminados
AQ	Areias Quartzosa	PB	Podzólico Bruno-Acinzentado
B	Brunizem	PE	Podzólico Vermelho-Escuro
BT	Brunizem Vértico	PL	Planossolo
C	Cambissolo	PLV	Planossolo Vértico
CB	Cambissolo Bruno	PLP	Planossolo Plíntico
GH	Glei	PT	Plintossolo
HO	Solo Orgânico	PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
LA	Latossolo Amarelo	R	Litólico
LB	Latossolo Bruno	TR	Terra Roxa Estruturada
LBC	Latossolo Bruno Cambico	TB	Terra Bruna-Estruturada
LBR	Latossolo Bruno-Roxo	TBR	Terra Bruna-Roxa
LE	Latossolo Vermelho-Escuro	TBV	Terra Bruna Podzólica
LR	Latossolo Roxo	V	Vertissolo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo		

Tabela 2.3.4.1.- Simbologia simplificada das classes pedológicas (Davison Dias, 2001).

Espessura de horizonte (m)	Classificação
0 - 0.30	Sem horizonte (se)
0.30 - 2.00	Pouco Espesso (pe)
2.00 - 5.00	Medianamente Espesso (mde)
5.00 - 10.00	Espesso (e)
> 10.00	Muito Espesso (me)

Tabela 2.3.4.2. - Identificação de espessura de horizonte (Davison Dias, 2001).

Sigla	Classificação	Sigla	Classificação
a	Arenito	g	Granito
ag	Argilito	gl	Granulito
an	Andesito	gn	Gnaisse
ar	Ardósia	gd	Granitoide
b	Basalto	ma	Mármore
br	Brecha	p	Pelito
c	Conglomerado	q	Quartzito
ca	Calcáreo	r	Riolito
cm	complexo metamórfico(*)	si	Sienito
cr	Carvão	s	Siltito
d	Diorito	sq	Sedimentos quaternários
da	Dacito	st	Sedimentos terciários
f	Folhelho	x	Xisto

(*) - Complexo formado por várias rochas metamórficas de difícil individualização.

Tabela 2.3.4.3. - Geologia simplificada (Davison Dias, 2001).

A classificação geotécnica não deve ser confundida com a classificação pedológica, fato possível devido a origem das mesmas e a conseqüente semelhança na simbologia.

As unidades pedológicas são utilizadas com a finalidade de caracterização do solo com fins agronômicos, enquanto as unidades geotécnicas abordam o comportamento frente a utilização do solo em obras de engenharia, com a finalidade da obtenção de parâmetros que possam mensurar características do comportamento hidráulico e mecânico do material.

A diferenciação vertical entre os horizontes do solo, que definem o perfil, tem sido muito utilizada como critério principal de classificação e mapeamento do solo. Tal diferenciação é verificada lateralmente, também, sendo fundamental considerá-la nos estudos das relações genéticas entre o solo e os demais elementos constituintes do meio natural: o substrato geológico, o relevo, a vegetação, o comportamento hídrico e, assim possibilitar a interpretação de vários processos da dinâmica superficial como erosões, escorregamentos, colapsos, e demais fenômenos do meio físico relacionados com as diferentes formas de interferências da ação humana. Desta forma, os solos, de uma maneira geral, ocorrem compondo unidades ou seções delimitáveis por meio de características morfológicas dos horizontes pedológicos, e características físicas e químicas determinadas através de ensaios em campo ou laboratoriais. A espessura dos horizontes e a diferenciação vertical e lateral entre estes, são atributos igualmente importantes, utilizados na caracterização, classificação e mapeamento dos solos.

É necessário que haja um entendimento final de que as propriedades dos solos podem apresentar variações de local para local. Salienta-se que os resultados obtidos através da metodologia de mapeamento geotécnico, somente fornecem subsídios para uma estimativa de comportamento e não podem ser usados como valores de projeto.

2.4. PEDOLOGIA

Com o advento da Pedologia ou Edafologia, ciência que estuda o solo, fundamentada na Rússia por Dokuchaiev, em 1880, o solo passou a ser entendido como uma camada viva que recobre a superfície da terra, em evolução permanente, por meio da alteração das rochas e de processos pedogenéticos, comandados por agentes físicos, químico e biológicos.

Segundo Hilf (1977), a pedologia tem sido identificada como a área de domínio da ciência do solo que estuda suas características em condições naturais, correlacionáveis com variáveis independentes, que são os fatores de formação do solo.

Uma definição completa e atualizada de solo foi apresentada por Birkeland (1974): “material natural consistindo em camadas ou horizontes de compostos minerais e/ou orgânicos com variadas espessuras, diferindo do material original por propriedades morfológica, física, química mineralógica, e por características biológicas. Os horizontes de solo são inconsolidados, mas alguns contém suficientes porções de sílica, carbonatos ou óxidos de ferro para cimentá-los”.

Baldwing et al. (1939) classifica a pedologia pelo desenvolvimento do horizonte B, classificação essa utilizada para os levantamentos da EMBRAPA e RADAMBRASIL.

A pedogênese, de acordo com Simonson (1959), é o processo de formação dos solos, que se caracteriza pela adição, perda, transformação e transporte de material, atuando desde o material de origem.

Existe uma variedade muito grande dos tipos de solos no Brasil. Os solos tropicais apresentam particularidades diferentes dos solos normalmente abordados nos livros tradicionais de mecânica do solos. Existem regiões que apresentam perfis de solo evoluídos (camadas lateríticas), perfis com profundos horizontes menos evoluídos que ainda guardam a estrutura da rocha de origem onde seus horizontes não atingem muita profundidade (solos saprolíticos) e outros tipos de solos onde o processo de intemperismo atuou de forma mais complexa. Todos estes tipos de solos apresentam comportamento peculiar, diferente dos solos habitualmente tratados na literatura geotécnica tradicional.

Percebe-se uma grande complexidade no estudo dos solos no Brasil devido ao seu clima tropical e subtropical. A pedogênese atua nestes materiais formando diferentes perfis de solos com comportamentos próprios.

2.4.1. Formação dos Perfis de Solos

O solo é o produto do intemperismo físico e químico das rochas, escavável, e que perde principalmente a sua resistência em contato com a água. Avaliar e classificar os solos é poder prever seus comportamentos mecânicos e hidráulicos através das descrições realizadas em cortes e ensaios (GEORIO, 2000).

Em geologia, solo é o manto de intemperismo que recobre as rochas, de espessura variável, principalmente quando formado de material solto, incoerente, que via de regra passa gradativamente para a rocha fresca, inalterada (GEORIO, 2000). Através desta base conceitual, os solos podem ser classificados resumidamente:

- *Solos residuais ou autóctones*: derivados diretamente da rocha matriz pelo intemperismo.
- *Solos transportados*: aqueles sobrejacentes a solos residuais mais antigos, decapitados por processos erosivos, muitas vezes de natureza coluvionar, que recobrem, os solos residuais autóctones.
- *Colúvios*: massas de solo e fragmentos de rochas em vários estágios de decomposição, recobrindo algumas encostas, de espessura variável, que sofreram ou estão sofrendo movimentação lenta, para baixo por ação da gravidade.
- *Tálus*: depósito de grande heterogeneidade, encontrado principalmente no sopé das escarpas, originado por efeito da gravidade sobre fragmentos soltos de rochas e material inconsolidado.

Define-se *perfil do solo* como todo o comprimento da seção vertical que, alcança a profundidade máxima da ação do intemperismo, mostrando, em sua grande maioria, uma série disposta em camadas horizontais denominadas horizontes.

Dá-se o nome de *perfil de alteração* ou de intemperismo a uma sequência de camadas com diferentes propriedades físicas, que se desenvolveram no mesmo local da rocha de origem, ou seja, sobre a rocha matriz.

Os processos de pedogênese atuando na rocha de origem resultam perfis de solos alterados. Estes perfis de alteração possuem características geotécnicas diferentes em cada uma de suas camadas.

Um esquema de classificação e descrição de maciços rochosos intemperizados, usualmente utilizado, é apresentado pela *International Society for Rocks Mechanics* (ISRM, 1978) como mostra a tabela 2.4.1.1.

TERMO	DESCRIÇÃO	CLASSE
Sã	Nenhum sinal visível de alteração da matriz; possível leve descoloração ao longo das descontinuidades principais.	I
Levemente Intemperizado	Descoloração indica intemperismo da matriz da rocha e de superfícies de descontinuidade. Toda a matriz da rocha pode estar descolorida pelo intemperismo e pode estar extremamente mais branda do que na condição sã.	II
Medianamente Intemperizado	Menos da metade da matriz da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. Rocha sã ou descolorida está presente formando um arcabouço descontínuo ou como núcleos de rocha.	III
Altamente Intemperizado	Mais da metade da matriz está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. Rocha sã descolorida está presente formando um arcabouço descontínuo ou como núcleos de rocha.	IV
Totalmente Intemperizado	Toda a matriz da rocha está decomposta e/ou desintegrada à condição de solo. A estrutura original está, em grande parte, preservada.	V
Solo Residual	Toda a rocha está convertida em solo. A estrutura do maciço e da matriz da rocha estão destruídos. Há uma grande variação de volume, mas o solo não foi significativamente transportado.	VI

Tabela 2.4.1.1. - Esquema de classificação de maciços rochosos intemperizados (ISRM, 1978).

“Todos os solos existentes na paisagem refletem a sua história. Desde o primeiro instante da sua gênese até o presente, fenômenos físicos e químicos diferenciados ocorrem no material que lhes deu origem, motivando progressivas transformações que se refletem na sua morfologia e nos seus atributos físicos, químicos e mineralógicos, identificando-os” Jenny (1941).

Para a pedologia, os horizontes são zonas do solo, que possuem propriedades resultantes dos efeitos combinados dos processos genéticos. Algumas características são usualmente utilizadas para a diferenciação entre os horizontes, são elas: cor, textura, consistência, estrutura e composição.

Alguns fatores, sob o ponto de vista pedológico, fazem com que ocorra a gênese do solo, sendo eles: o clima, material de origem, relevo, organismos e tempo de atuação destes fatores.

- **Clima:** o clima dos trópicos apresenta elevado índice de pluviosidade decorrente de fortes chuvas, ocasionando o processo de hidrólise acelerado pelas altas temperaturas apresentadas nestas regiões. Através deste fenômeno, materiais primários se transformam em argilas do grupo da caolinita e óxidos de ferro e alumínio;
- **Material de origem:** depende diretamente dos minerais primários presentes na rocha de origem. Alguns minerais apresentam maior ou menor resistência ao intemperismo, como o quartzo e a mica biotita respectivamente. Fraturas, fissuras, falhas, dobras, etc., podem acelerar este processo pela penetração da água facilitando a hidrólise no processo de argilização;
- **Relevo:** o relevo suave ondulado favorece a penetração da água, acelerando o processo de hidrólise, enquanto que o relevo fortemente ondulado dificulta o desenvolvimento não permitindo que a água infiltre para o interior do solo.
- **Organismos:** são agentes transformadores de solos. Podem modificar a condição inicial do solo alterando assim sua estrutura. Os organismos são responsáveis por parte da transformação do solo, não apenas superficialmente, mas através de aterros e escavações, variação do nível d'água com as construções de barragens, e outras alterações, como demolições e implosões de grandes edifícios.
- **Tempo:** adotando-se como base de que o solo se compõe de um sistema dinâmico em contínuo desenvolvimento, é evidente que as suas características se relacionam com o estado da sua evolução. Porém, o tempo necessário para que um solo atinja determinado estágio evolutivo depende da influência dos demais fatores relacionados à formação do solo.

Os perfis de solos, segundo a pedologia, podem ser divididos basicamente em horizontes A, B e C, conforme a intensidade de atuação da pedogênese.

O horizonte A é o mais superficial, sendo em sua grande maioria o menos espesso dos horizontes. Este horizonte não possui qualquer característica geológica do material de origem, com exceção de alguns minerais mais resistentes ao intemperismo, como por exemplo o quartzo. Este é o horizonte de maior quantidade de matéria orgânica em sua composição consequentemente o de maior importância no ponto de vista agronômico.

O horizonte B é o seguinte em profundidade, após o horizonte A. Neste horizonte apresenta-se o grau de desenvolvimento de um solo. Dependendo do grau da

intensidade de atuação dos agentes de formação do solo, e por conseguinte, dos processos pedogenéticos.

O horizonte C é o horizonte em que a rocha matriz começa a intemperizar-se, guarda toda a estrutura original da rocha, porém é escavável com pá e picareta.

A tabela 2.4.1.2. apresentada pela GEORIO, descreve cada tipo de horizonte classificado pela pedologia.

HORIZONTE	DESCRIÇÃO
O	Horizonte orgânico, com restos vegetais e animais em processo de decomposição.
A	Presença de material orgânico na parte superior. Máxima perda por eluviação de argila, ferro e alumínio, com concentrações de quartzo e outros minerais resistentes. Máxima atividade biológica.
B	Concentração iluvial de argila, secquióxidos de ferro ou alumínio e algo de matéria orgânica. Máxima expressão de cor e estruturas.
C	Horizonte menos afetado pelos processos pedogenéticos, carecendo das propriedades diagnosticas de A e B. Composições químicas, físicas e mineralógicas similares às da rocha matriz
R	Rocha sã.

Tabela 2.4.1.2. - Perfil hipotético do solo (GEORIO, 2000).

Oliveira et al. (1992), descreve alguns perfis hipotéticos de solos, de acordo com a classificação pedológica, também presentes nos solos do norte do estado do Rio Grande do Sul, demonstrando suas denominações e seus horizontes com as respectivas profundidades de ocorrência como mostra a figura 2.4.1.1.

A gênese do solo, de acordo com a pedologia, estuda a ação do clima, organismos e relevo sobre o material de origem por um determinado tempo, dando origem aos solos. Os diferentes tipos de solos apresentados no nosso país, são originados seguindo estes cinco fatores, considerados pedogenéticos, que atuam de forma e intensidade diferenciada de local para local.

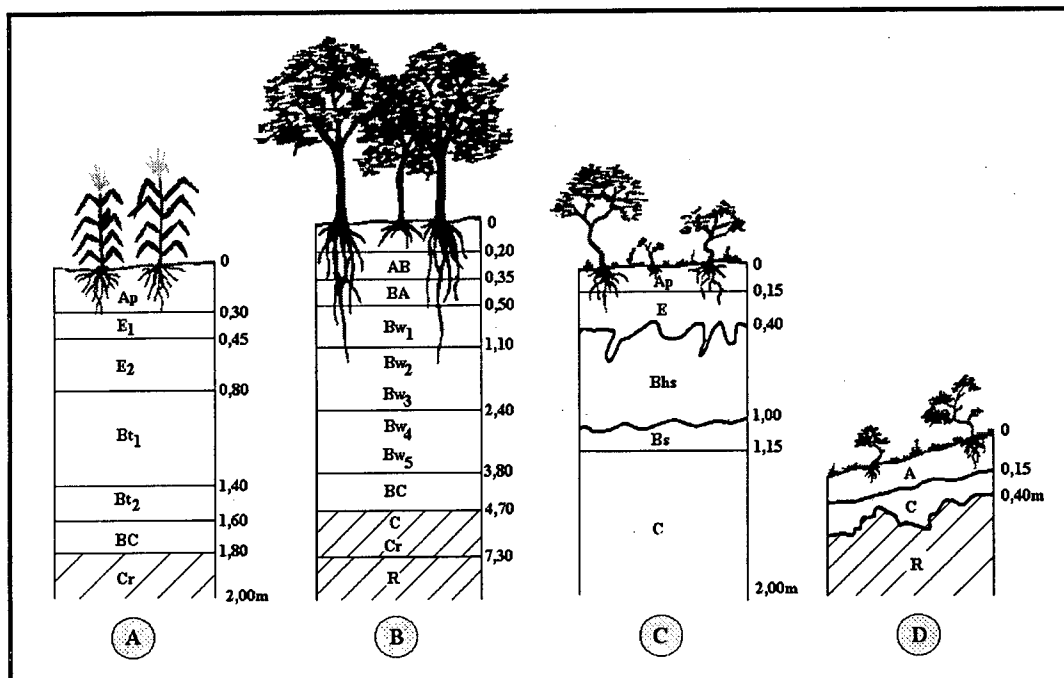


Figura 2.4.1.1. - Perfis hipotéticos ilustrando diferentes horizontes e camadas (Oliveira et al, 1992).

A – Podzólico Vermelho – Amarelo;

B - Latossolo;

C - Podzol;

D - Solo Litólico.

Os processos pedogenéticos na formação dos solos tropicais e subtropicais iniciam na rocha, e com mais intensidade na rocha alterada pela fragmentação e desagregação da mesma. Em climas tropicais e subtropicais, o elevado índice de pluviosidade possibilita a hidrólise, que resulta no processo de argilização da rocha, através da modificação dos silicatos, atenuado pelas altas temperaturas.

2.4.2. Os Latossolos

Segundo Pedro (1968), os solos lateríticos ocorrem em todo o mundo situando-se de forma mais concentrada entre os trópicos e subtropicais.

No Brasil, devido ao clima tropical ou subtropical e relevo não muito acidentado, a pedogênese atua de forma intensa provocando espessas camadas de solos evoluídos, chamadas na geotecnia de solos lateríticos. Este mesmo tipo de solo, de acordo com a

pedologia, é classificado como *Latossolo*. Ambos são solos que perderam as características mineralógicas e estruturais da rocha de origem.

Camadas mais profundas, formadas por solos residuais que não sofreram transporte, também são encontradas. Estes solos apresentam características estruturais da rocha de origem, porém não são considerados rochas. Possuem resistência mais baixa e maior facilidade de escavação. A geotecnia os considera como solos saprolíticos, enquanto a pedologia os classifica horizonte “C”.

A figura 2.4.2.1 mostra um perfil típico de um solo tropical evoluído encontrado no norte do estado do Rio Grande do Sul e seus respectivos horizontes.

O Brasil possui uma enorme gama de solos lateríticos. O norte e nordeste possuem uma grande ocorrência de solos amarelos e no sul há a predominância de solos vermelhos.

A pedologia define, segundo a sua gênese, que os solos lateríticos são aqueles que sofreram intenso processo de laterização ou latolização. A latolização se caracteriza por ser um processo pedogenético em que, através da hidrólise, sílicas e cátions são lixiviados resultando concentrações de sesquióxidos de ferro e alumínio ou solos caolíníticos com óxidos de ferro e alumínio.

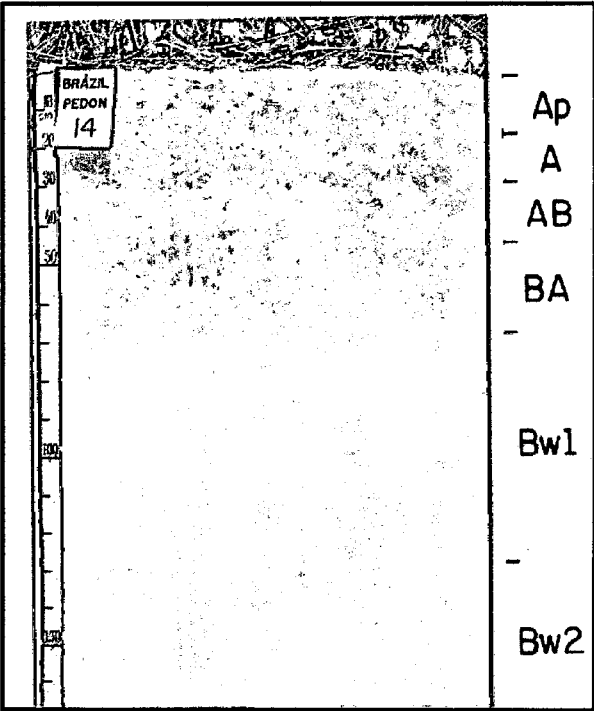


Figura 2.4.2.1. - Perfil típico de um Latossolo Roxo e seus respectivos horizontes superficiais (Oliveira et al, 1992).

Segundo Davison Dias (1989), o estudo geotécnico dos solos lateríticos, em seu estado natural, é bastante complexo, em razão de apresentarem algumas características peculiares:

- apresentam-se parcialmente saturados;
- demonstram uma estrutura particular oriunda da pedogênese;
- intercepto de coesão sofre alteração com as condições de saturação proveniente da modificação da poropressão negativa;
- apresentam uma cimentação ocasionada pelos óxidos de ferro e alumínio.

Desta forma, é importante um estudo sistemático destes solos, uma vez que existem vários tipos de solos lateríticos, com propriedades e características diferenciadas pela sua estrutura pedológica.

A laterização (formação dos solos lateríticos) ocorre através dos processos de decomposição das rochas típicos de regiões quentes e úmidas. Tais processos recebem também outras denominações: latolização, caolinização ou ferrolização.

Os solos conhecidos como os mais evoluídos, já não apresentam mais as feições originais da rocha-mãe, e sim uma nova estrutura decorrente dos processos pedológicos, a “estrutura pedológica”, que influencia fortemente o seu comportamento geomecânico.

Os solos tropicais são abordados, na maioria das vezes, como solos residuais. Em solos considerados saprolíticos isso é verdade, porém, os solos lateríticos podem apresentar um certo transporte, mudando assim, as características que estes tipos de solo apresentariam.

2.5. PEDOLOGIA APLICADA A GEOTECNIA

Na divisão geotécnica de um perfil do solo, os horizontes pedológicos A e B correspondem ao superficial e laterítico, e o horizonte C o solo de alteração ou saprolítico. Existem ainda algumas subdivisões, porém é mais conveniente verificar a classificação apresentada na figura 2.5.1, que demonstra um quadro comparativo entre as divisões dos perfis de solos considerados pela geotecnia e pedologia segundo (Kertzman e Diniz (1995), modificado por Souza, 1992).

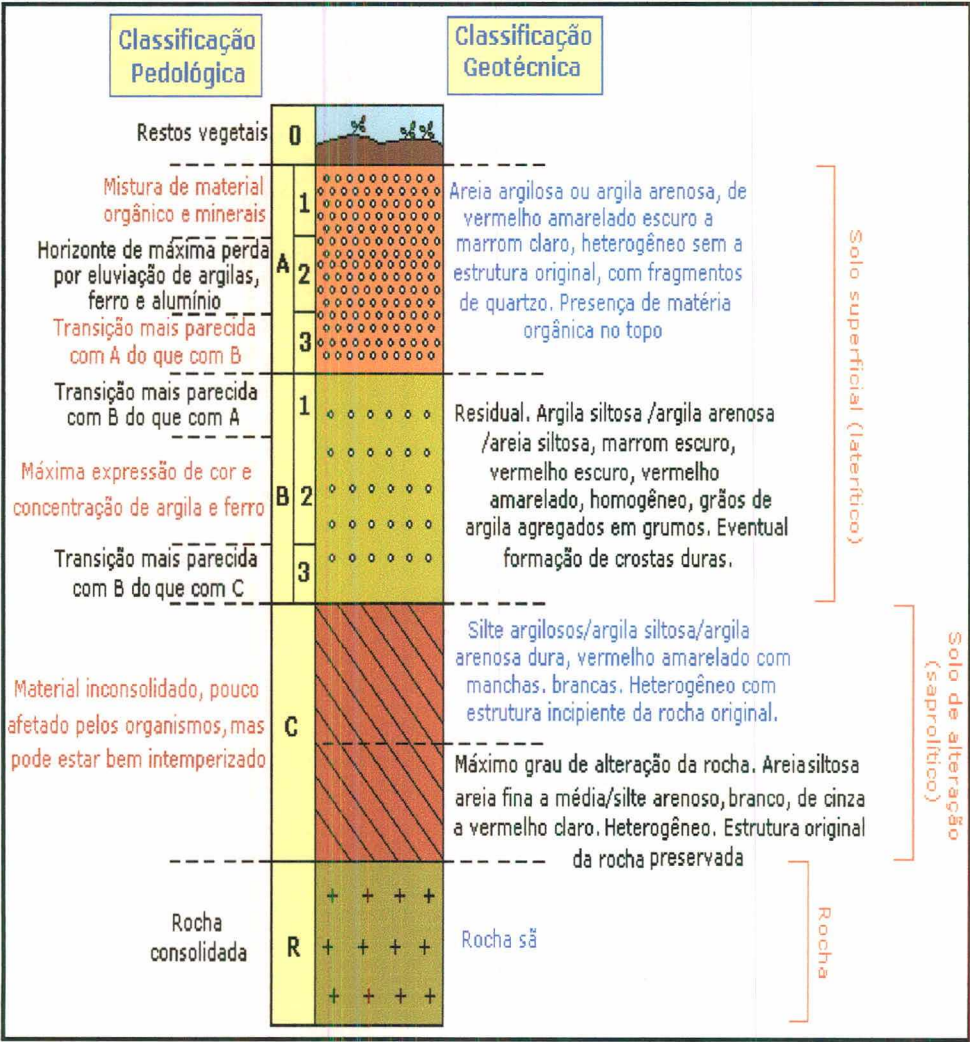


Figura 2.5.1. - Perfil do solo: uma comparação entre as classificações pedológica e geotécnica (Kertzman e Diniz (1995), modificado por Souza, 1992).

As aplicações em engenharia utilizam os solos com os cuidados relacionados ao comportamento mecânico dos mesmos, notando que, na maioria das situações, o

horizonte superficial (A) é removido. Desta forma, os horizontes de maior utilização e cuidado para obras de engenharia são os B e C.

A maioria dos sistemas de classificação do solo foi desenvolvida em regiões temperadas e frias, onde se encontram solos distintos das encontradas nas regiões tropicais e subtropicais, e, por conseguinte necessita de adaptação dos parâmetros, para uso nestas últimas regiões.

O emprego do mapeamento geotécnico baseado na aplicação da pedologia e geologia na engenharia geotécnica não é muito difundido no Brasil.

O uso da pedologia aplicada à geotecnia foi sugerido inicialmente por Casagrande (1948) em seu trabalho de classificação de solos. No Brasil, Job Shuji Nogami aborda desde 1951 esta técnica, aplicando-a apenas à engenharia rodoviária, apresentando uma série de publicações abordando a utilização de trabalhos pedológicos em rodovias.

Em 1997 e 1999, respectivamente, Santos e Valente realizaram um levantamento pedológico para estimar unidades geotécnicas da cidade de Florianópolis em Santa Catarina e Porto Alegre no Rio Grande do Sul. Davison Dias (1987) realizou um estudo visando fundações de torres de alta tensão onde utilizou conhecimentos de pedologia para uma caracterização mais detalhada do comportamento do solo.

Abitante (1997) utiliza conhecimentos de pedologia e mapeamento geotécnico de grandes áreas, visando a aplicação do mesmo em obras rodoviárias no sul do Brasil.

Um apanhado geral da relevância da pedologia na avaliação do comportamento dos solos é realizado por Klamp (1989). Avalia através de ensaios de laboratório e caracterizações em campo as principais características do tipo de solo.

Maccarini (1987) apresenta uma pesquisa sobre o comportamento mecânico dos solos voltado a solos residuais. Demonstra um estudo relacionado à quebra de cimentações de um solo artificial com o objetivo de simular mecanicamente os solos residuais.

Na avaliação das características de plasticidade de solos com a utilização de cal do norte e nordeste do Brasil, Carvalho (1989) trabalha com universos de solos lateríticos utilizando ensaios laboratoriais e de campo.

Davison Dias (1989) apresenta uma síntese da caracterização geológica – geotécnica dos solos lateríticos do sul do Brasil. Caracteriza os solos de Latossolos e utiliza sua metodologia de mapeamento geotécnico de grandes áreas considerando a pedogênese como indicadora de unidades geotécnicas. Realiza ensaios de

compressibilidade, colapsividade, cisalhamento direto, etc., com amostras deformadas e indeformadas para a caracterização do norte do estado do Rio Grande do Sul.

Este estudo, conclui que os resultados geotécnicos de solos de uma determinada região podem resultar em uma estimativa de comportamento dos mesmos e assim, obter características de comportamento de unidades geotécnicas semelhantes.

O mapa pedológico contém inúmeras características de suma importância para a engenharia geotécnica. Porém, apesar de apresentar maior número de unidades, suas análises não incluem a rocha de origem e se restringem a poucos metros da superfície, tornando-se, em alguns casos, com pouca utilidade para a engenharia.

Com a finalidade de identificar e definir as unidades geotécnicas da cidade de Florianópolis, Santos (1997) utilizou a pedologia associada à geologia como base, elaborando assim o mapa Geotécnico do município.

Yoder e Witzack (1975) abordam que o uso da pedologia associada a geologia e a topografia contribuem para a interpretação dos resultados laboratoriais obtidos de amostras de solos com perfis identificados pela pedologia. Além de ser útil na delimitação de áreas com solos de comportamento semelhante.

De acordo com Davison Dias (1997), o uso e ocupação do solo pelo homem em zonas urbanas, ou mesmo rurais, deve ser considerado com seriedade. A utilização do solo para obras civis, com a finalidade de expandir áreas urbanizadas, é realizada sem critérios específicos que poderiam otimizar economicamente de forma segura o uso racional do solo de maneira que não agrida o meio físico e a geotecnologia em geral.

A seguir, Davison Dias (1997) cita alguns exemplos de obras civis realizadas sem o devido conhecimento do solo;

- o solo é contaminado sem o conhecimento das características de drenagem no estado natural ou compactado;
- são abertas estradas, ou realizados cortes onde grandes taludes ficam expostos a erosão ou mesmo escorregamento;
- as fundações são realizadas sem investigação do tipo do material;
- pequenos açudes são executados sem o conhecimento dos materiais de construção do entorno;

Estes e outros inúmeros casos demonstram a importância do conhecimento das propriedades dos solos com fins civis.

De posse dos dados necessários, a união entre a pedologia e a geologia pode fornecer informações importantes obtendo parâmetros com o objetivo de determinar o

comportamento dos solos, fornecendo subsídios ao planejamento regional de uso e ocupação do solo e ampliando o conhecimento do meio físico e o conhecimento geotécnico dos mesmos.

Através dos levantamentos pedológicos, pode-se obter informações e características importantes relacionadas aos tipos de solos que serão solicitados em um problema de engenharia. Pode-se obter indicações das características de drenagem do solo, do grau de saturação, da profundidade do lençol freático (caso este ocorra nos horizontes superficiais), da macroestrutura, a presença de minerais expansivos, granulometria, características de plasticidade, presença de solos lateríticos, a presença de solos saprolíticos próximos à superfície, etc. Os levantamentos pedológicos nos fornecem indicações, em geral, dos horizontes superficiais, porém, pode-se obter uma estimativa dos tipos de solos ou material que ocorrem em maiores profundidades.

Como exemplo desta prática, a geotecnia trata como solos coluvionares todos os solos depositados pela ação da gravidade em encostas e classifica-os em um mesmo universo. Verificando a pedogênese deste solo pode-se notar que existem vários tipos de colúvios, que se relacionado com parâmetros de resistência, permeabilidade, e outros, apresentarão diferenças em suas características. A característica de um colúvio que é abordada na engenharia civil tradicional é de que possui permeabilidade irregular, granulometria variada, baixa resistência, ou seja, apresenta-se impróprio para a utilização da engenharia. Porém, se analisado de acordo com sua evolução, pode-se notar que, se caso este colúvio tenha se tornado um solo bem evoluído, este apresentará características de um solo mais compacto, drenagem melhorada, presença de horizonte B, aumento de cimentação entre as partículas, maior resistência, demonstrando assim uma melhor adequabilidade às obras de engenharia.

Na classificação geotécnica são consideradas e quantificadas propriedades geotécnicas, que determinam os parâmetros de engenharia. De acordo com Vargas (1985), os solos tropicais apresentam duas porções com comportamentos geotécnicos distintos: a porção profunda, que apresenta estruturas reliquias da rocha e se constitui em solo saprolítico, e a porção superficial com intensa evolução pedogenética e estágio avançado de laterização.

2.4.1. Comportamento Geral do Latossolos

Os solos apresentam um comportamento especial dependendo da sua gênese. A gênese condiciona a formação de horizontes com propriedades mecânicas e hidráulicas próprias.

Existem poucos estudos sistemáticos realizados a respeito dos solos não saturados brasileiros considerando a gênese de formação do solo e sua definição de universos que separam os materiais de maneira a facilitar o entendimento de seu comportamento.

A caracterização geomecânica dos materiais dos perfis de alteração pode ser verificada de duas formas: em campo ou em laboratório. Em campo, deve-se distinguir as características reconhecidas dos materiais de transição resultantes do intemperismo.

É importante considerar, para uma análise mais completa, a geomorfologia e a geologia estrutural do perfil estudado. No laboratório, é necessário estabelecer características mineralógicas, identificar as propriedades físicas dos materiais coletados através de diferentes ensaios, tais como peso específico aparente e saturado, porosidade, grau de saturação, teor de umidade de saturação, e análises de resistências e deformabilidade através de ensaios de compressão, cisalhamento, colapsividade, etc.

Poucos são os trabalhos que se utilizam tecnologias desenvolvidas para os solos tropicais. Mais restrito ainda é o campo dos trabalhos que consideram apenas as propriedades dos Latossolos, segundo a pedologia.

2.4.2. Caracterização dos Latossolos

Os ensaios de caracterização consistem em ensaios correntes de laboratório de análise granulométrica, determinação do peso específico, teor de umidade e limites de *Atterberg*.

Em relação às características dos Latossolos, sua granulometria apresenta-se muito fina, contudo na grande maioria das vezes, demonstra uma boa permeabilidade. Este fenômeno é explicado pela estrutura de seus micro-agregados, que se comportam como se estivessem em grumos de solo, trabalhando assim, como partículas maiores que se unem, resultando em maior macroporosidade.

Davison Dias e Gasparim (1986) constatarem esta afirmação, descrevendo que os solos lateríticos apresentam uma macroestrutura particular, constituída de agregados que podem possuir dimensões superiores a 0,002mm. Estes agregados são formados por um conjunto de partículas cimentadas por óxidos de ferro e alumínio. Esta cimentação confere ao solo propriedades de partículas individuais, justificando a permeabilidade apresentada por este tipo de solo.

Davison Dias (1997) relata a dificuldade na determinação do limite de plasticidade para solos com elevado teor de óxido de ferro. Complementa informando que isto ocorre devido a forte agregação dos pequenos grumos de partículas, provocando dificuldades para desmanchá-los, concluindo que os grumos formam "pseudo partículas".

2.4.3. SPT – *Standard Penetration Test*

A Sondagem à Percussão é o método mais comum de investigação para a definição do perfil geotécnico em solos.

Em regiões cujos solos possuam características lateríticas, utilizando-se do cruzamento de informações entre a pedologia e geologia, pode-se avaliar de uma maneira mais correta também o comportamento deste tipo de solo. Através de ensaios laboratoriais e de campo, é possível constatar que o comportamento deste tipo de solo apresenta algumas características peculiares. Os Latossolos são sempre bem drenados; a presença do lençol freático, na maioria das vezes, não é encontrada nos boletins de sondagens. Para as aplicações em seu estado natural, pode apresentar características colapsíveis, na maioria das vezes, quando o número de golpes no ensaio de SPT for menor ou igual a 5. Possui baixas resistências e não possui matações em toda a profundidade de seu Horizonte B.

Davison Dias (1997) analisa sondagens SPT do norte do Rio Grande do Sul e verifica que, na maioria das sondagens, os valores do número de golpes são inferiores a 8, apresentando em alguns locais na ordem de 2 a 3.

Os valores do SPT, notados no horizonte C do Latossolo, são de 10 golpes em média, percebendo-se que este horizonte apresenta zonas de intemperismo diferente, proporcionando uma maior dispersão de valores.

2.4.4. Compressibilidade

A pressão de pré-adensamento é uma característica peculiar dos solos lateríticos.

Os resultados de ensaios laboratoriais dos Latossolos apresentados, foram realizados em amostras deformadas e em amostras com a estrutura natural nas condições naturais e na condição de saturação dos macroporos.

A pressão de pré-adensamento dos solos lateríticos tem origem de uma forma diferente dos solos tradicionais. A origem da pressão de pré-adensamento virtual, termo utilizado por Vargas (1970), dos solos lateríticos, pode ser devida a parcela de sucção que varia com as condições climáticas, a macroestrutura de origem pedológica, a cimentação causada pelos óxidos de ferro e alumínio, proporcionando um pré-adensamento químico.

Não existem muitos estudos voltados à compressibilidade dos solos laterizados. Desta forma, não foram encontrados muitos parâmetros para a realização de comparações destes tipos de solos.

2.4.5. Colapsividade

Os ensaios de colapsividade coletados para o banco desta pesquisa, foram realizados na prensa de cisalhamento direto nas pressões verticais de 15, 30, 50, 100, 150 e 200KN/m². Foram medidas as deformações verticais com a inundação, após a estabilização das deformações com o carregamento.

Davison Dias (1994) ao analisar o emprego dos Latossolos em engenharia geotécnica, conclui que os mesmos possuem a tendência de apresentarem-se colapsíveis em sua estrutura natural, porém quando modificada esta condição inicial, ou seja, quando utilizados como material de compactação, apresenta um bom desempenho.

2.4.6. Resistência ao Cisalhamento

Existem vários ensaios para a determinação da resistência ao cisalhamento, porém os mais comuns para esta prática, são os ensaios de cisalhamento direto e o ensaio triaxial.

O ensaio de cisalhamento direto é relativamente mais simples que o ensaio triaxial e pode ser usado para muitos tipos de solos tropicais. A moldagem de corpos de prova para o ensaio de compressão triaxial tem demonstrado ser uma tarefa muito difícil. Além disso, os solos tropicais encontram-se parcialmente saturados e seu coeficiente de permeabilidade é relativamente alto.

Segundo Davison Dias (1997), a resistência ao cisalhamento dos solos lateríticos é um assunto complexo, uma vez que estes solos são parcialmente saturados, apresentando uma poro-pressão negativa que diminui à medida que aumenta o teor de umidade. Esta complexidade é oriunda das variações das condições de umidade que sofrem estes solos, devido às condições ambientais.

Os solos lateríticos arenosos ou argilosos são permeáveis. Devido a esta característica estes solos quando saturados apresentam uma rápida dissipação da poro-pressão.

Davison Dias (1989) descreve os Latossolos do norte do estado do Rio Grande do Sul visando a determinação da resistência ao cisalhamento em taludes naturais e fundações. Relata que, em regiões onde o processo de argilização foi mais intenso, geralmente o horizonte B é mais estável, em razão dos óxidos de ferro e alumínio aumentarem o intercepto de coesão, o qual está intimamente ligado com a estabilidade de encostas naturais como mostra a figura 2.4.6.1. Explica ainda que os Latossolos apresentam intercepto de coesão devido a poropressão negativa e principalmente à cimentação, concluindo que solos que possuem muito quartzo podem perder esta coesão quando inundados.

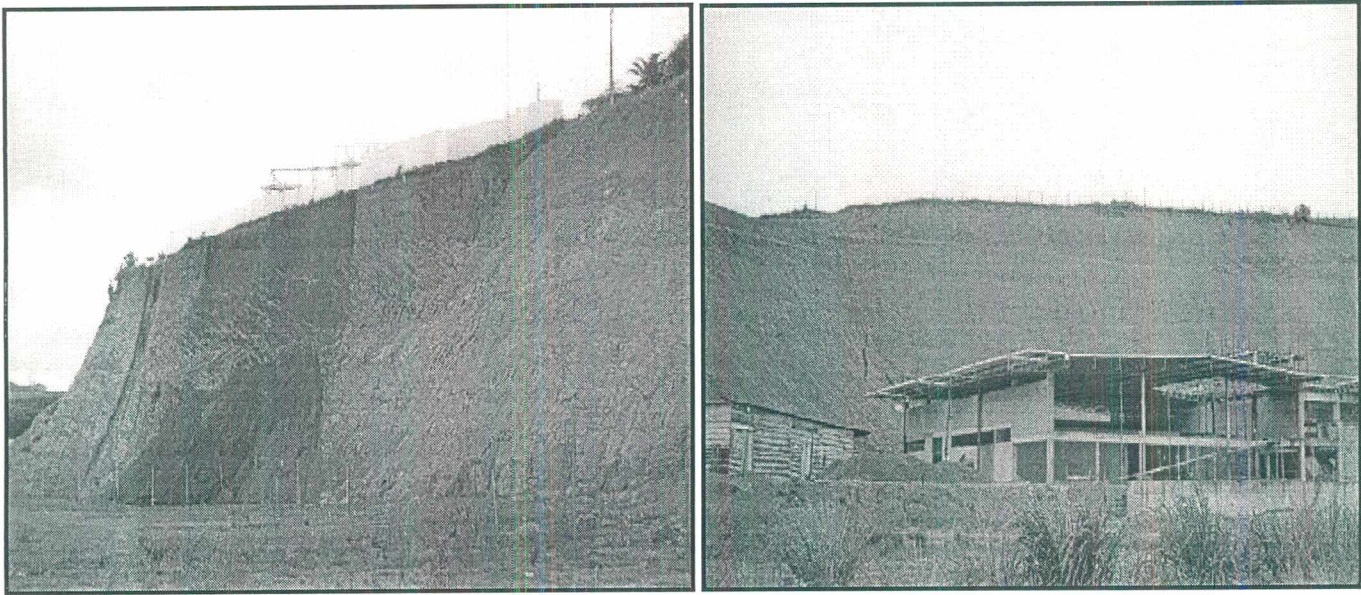


Figura 2.4.6.1. – Talude mostrando um horizonte B profundo, típico de um Latossolo no norte do estado do Rio Grande do Sul.

2.4.7. Compactação

Davison Dias (1997) demonstra algumas relações dos resultados de compactação para solos lateríticos do norte do estado do Rio Grande do Sul. Relata que as características de compactação obtidas no *Proctor Normal* mostraram uma tendência do peso específico aparente seco, apresentar um decréscimo com o aumento do teor de argila, e a umidade ótima crescer com a fração argila.

Existe também uma relação linear entre o peso específico aparente seco máximo e o teor de umidade ótima. Os maiores valores de peso específico aparente seco ocorreram para os Latossolo Vermelho Escuro arenosos da localidade estudada, e consequentemente menores valores de umidade ótima.

Estudos relacionando os Latossolos com os ensaios de compactação voltados para as obras rodoviárias foram, inicialmente, propostos por Nogami (1951).

Este autor apresenta inúmeras pesquisas a respeito da utilização de solos laterizados compactados para obras rodoviárias. Inicia o seu estudo desenvolvendo um procedimento de análise dos solos brasileiros ao qual denomina de Mini-CBR (Nogami, 1972).

Nogami e Villibor (1981 e 1985) desenvolveram o ensaios de MCT – *Miniatura Compactado Tropical*, onde através deste ensaio possibilita caracterizar os solos

lateríticos e não lateríticos, apontando quais os que possuem melhores características de compactação.

Nos ensaios utilizam-se corpos de prova de dimensões reduzidas; as características dos solos são tomadas a partir dos corpos de prova já compactados, simulando o que ocorrerá no campo; e por fim considera-se o efeito da pedogênese nos solos provenientes de regiões tropicais e subtropicais.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estado do Rio Grande do Sul está situado no extremo sul do Brasil entre as latitudes sul 27°, 03' 42" e 33°, 45' 10" e as longitudes 49° 42' 31" e 57° 40' 57" a oeste de Greenwich.

As descrições geotécnicas abordam unidades situadas no Rio Grande do Sul acima da latitude de 30°, ou seja, a área de estudo encontra-se no norte do estado, situando-se principalmente no planalto como mostra a figura 3.1.

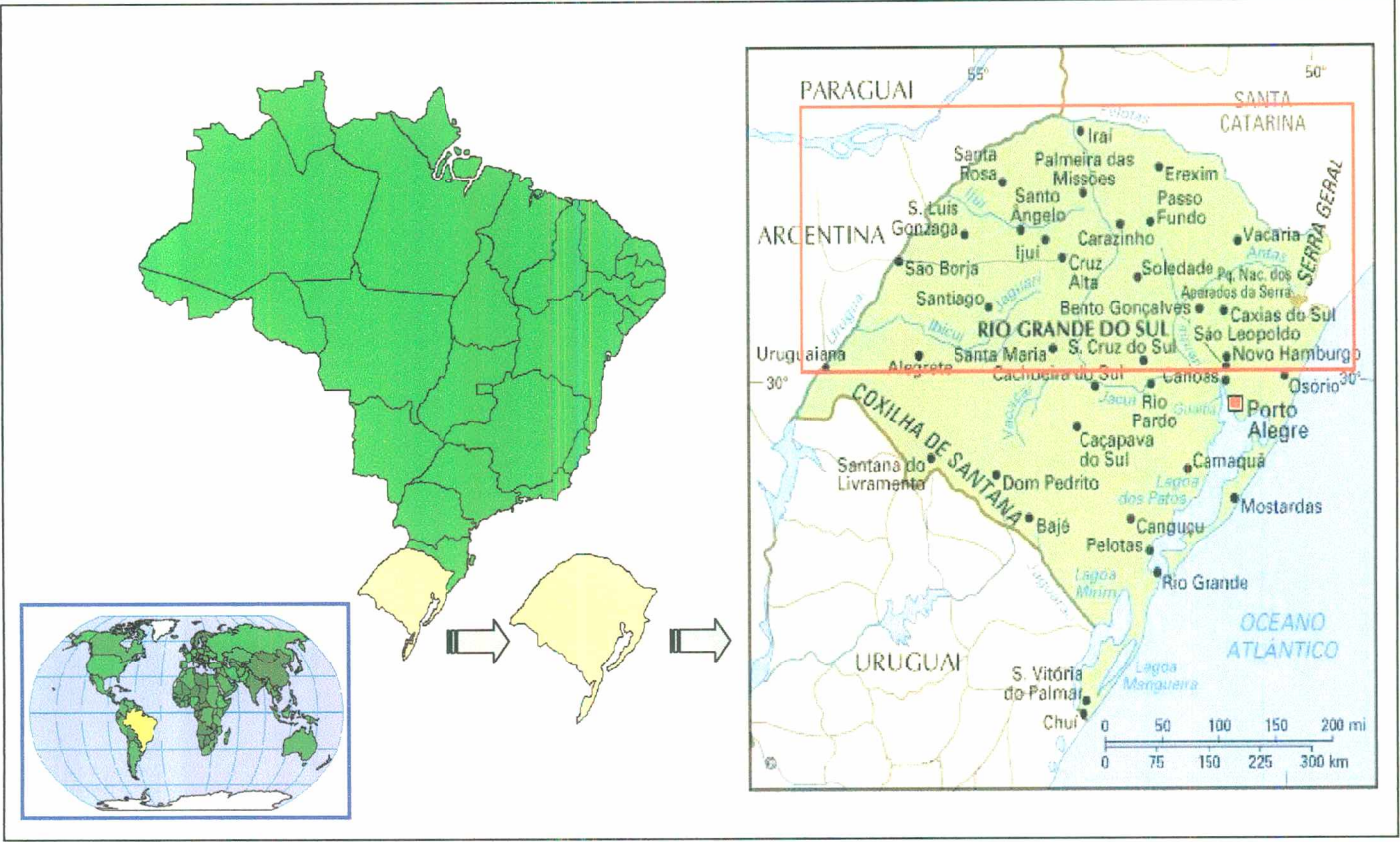


Figura 3.1. - Localização do norte do estado do Rio Grande do Sul.

3.1. Clima e Relevo

O norte do estado do Rio Grande do Sul, é caracterizado por possuir um planalto bastante extenso em sua porção norte.

Galvão (1966) define as regiões climáticas do Brasil de acordo com o mapa da figura 3.1.1, sendo a maior porção do norte do estado do Rio Grande do Sul localizada na Zona Cfa. Esta classificação atribui à localidade um clima temperado quente, com temperatura média do mês mais frio entre 18 e -3°C , ausência de estação seca, chuva em todos os meses, precipitação média do mês mais seco superior a 60mm e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C .

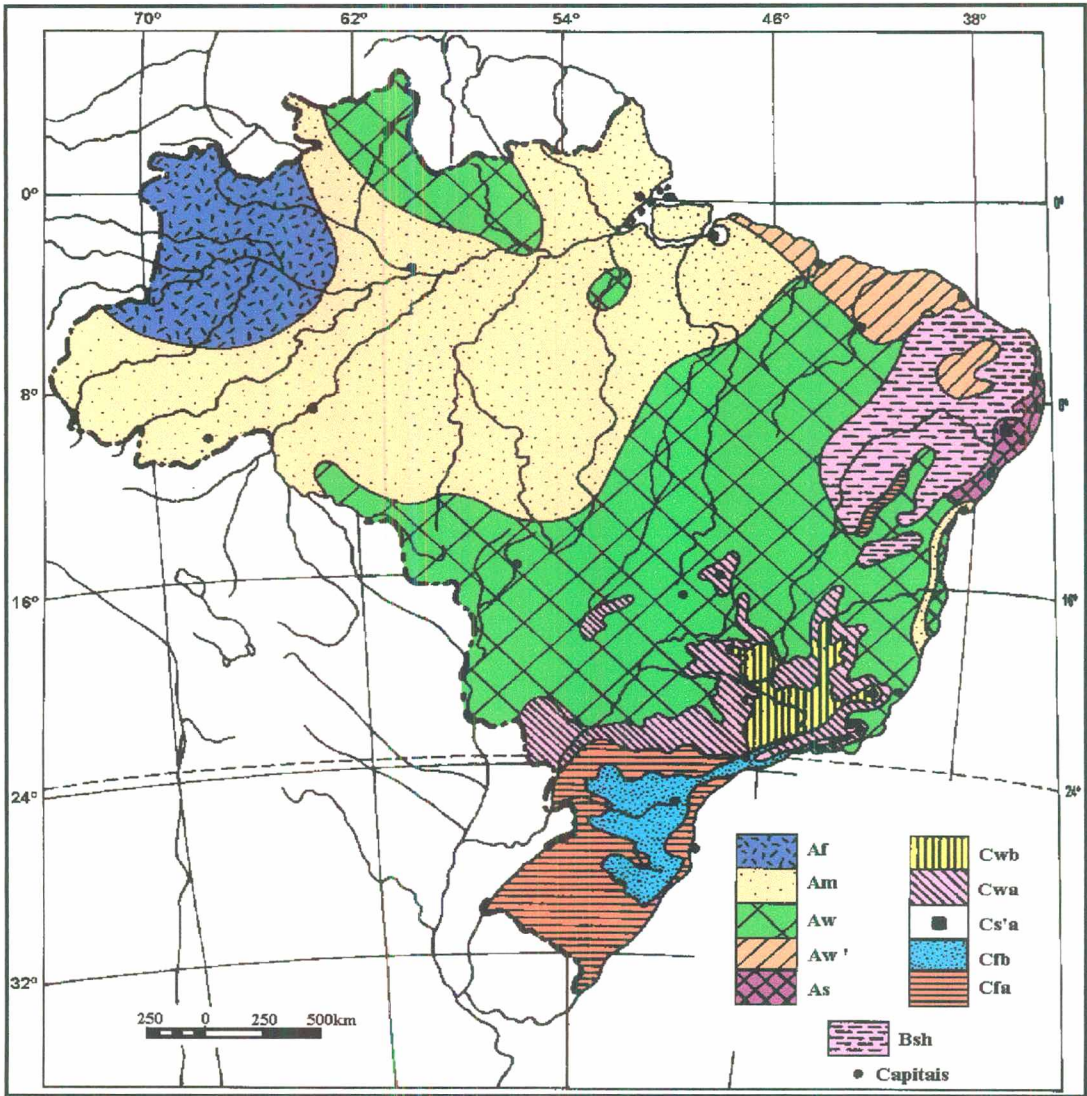


Figura 3.1.1. - Classificação climática do Brasil segundo Köppen (Galvão,1966).

3.2. Unidades geológicas

A geologia define os tipos de rochas que recebem denominações específicas e que são identificadas a partir de algum sistema de classificação. Assim sendo, os tipos de litologia são individualizados através do reconhecimento da sua composição mineral, cor, textura, tamanho dos grãos, estruturas e outras feições que permitam a discriminação das mesmas. Adotam-se, então, como critérios de classificação, o grupo genético, estruturas principais, textura, granulação e mineralogia.

Segundo o mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul, a região que compreende o norte do estado, acima da latitude de 30⁰, apresenta as principais formações constituintes de sua geologia:

- **Formação Serra Geral:** Basaltos, riolitos, lavas ácidas e diques e sills de diabásio associados.
- **Formação Tupanciretã:** Conglomerados com seixos de basalto e arenitos com intercalações de argila
- **Formação Botucatu:** Arenitos feldspáticos finos e médios, grãos sub-angulares e arredondados, foscos, com estratificações eólicas típicas, cores rosa a vermelho. A figura 3.2.1 demonstra a Formação.
- **Aluviões:** Sedimentos atuais e sub-atuais depositados em planícies de inundação e barra; cascalho, areias e argilas.
- **Formação Rosário do Sul:** Fácies fluvial: arenitos vermelhos de granulação média a muito fina, com estratificações cruzadas e intercalações de siltitos avermelhados. Fácies Santa Maria: siltitos e folhelhos com conchostráceos e flora thinnfeldia; lamitos vermelhos com répteis fósseis. A figura 3.2.2 demonstra a Formação.

Apesar de não ocorrer de forma extensa nesta região, outras formações são encontradas no norte do estado em menor proporção, tais como:

- **Grupo Cambaí:** Migmatitos e granitos associados. Ectinitos.
- **Formação Estrada Nova:** Fácies Armada: lentes de arenito muito finos, vermelhos intercalados em lamitos vermelhos; lentes calcárias. Fácies Caveiras: pelitos avermelhados.
- **Formação Chuí:** Areis amarelas, bem selecionadas, às vezes laminadas, de origem praial.
- **Formação Itapuã:** Areias eólicas pleistocênicas.

- **Formação Gravataí:** Areias finas argilosas, vermelhas, com matacões e seixos imersos na parte basal.
- **Formação Irati:** Fácies Valente: folhelhos silticos cinza-chumbo com lentes calcárias. Fácies Tiaraju: folhelhos pretos pirobetuminosos com lentes calcárias fossilíferas; folhelhos cinzentos com concreções calcárias. Fósseis: répteis, crustáceos, insetos, dentes e escamas de peixes.
- **Formação Rio Bonito:** Arenitos quartzosos, arenitos feldspáticos, folhelhos carbonosos, diaimictitos e carvão.



Figura 3.2.1. – Exemplo da Formação Botucatu. Arenito e horizonte C escavável (Davison Dias et al, 1996).



Figura 3.2.2. – Formação Rosário do Sul (Davison Dias et al, 1996).

Considerando as formações que constituem as litologias mais comuns presentes no norte do estado do Rio Grande do sul, podemos citar o arenito, riolito, siltito e o basalto.

O basalto é a rocha de maior ocorrência no norte do estado do Rio Grande do Sul. Isto se dá em decorrência de vários derrames que cobriram cerca de 60% do seu território resultando no substrato da maioria dos Latossolos desta região.

Os basaltos são rochas ígneas vulcânicas muito abundantes e a maior ocorrência deste tipo de rocha é na forma de derrames. No Brasil, constituem a Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, onde perfazem mais de 90% das rochas vulcânicas existentes nesta localidade.

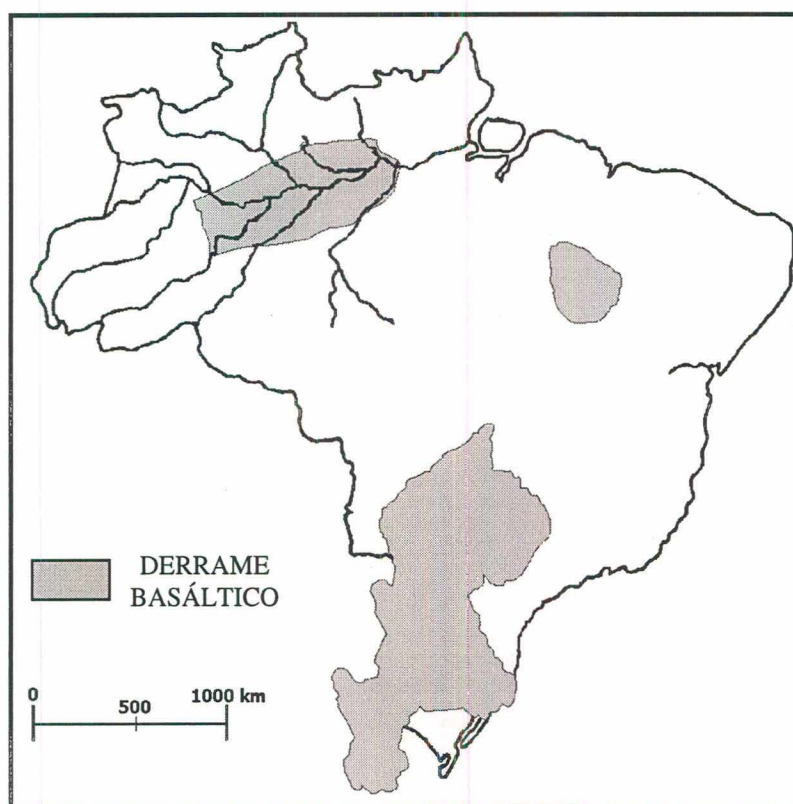


Figura 3.2.3. - Áreas do Brasil afetadas pela atividade vulcânica do passado geológico. A área coberta pelos derrames basálticos da bacia do Paraná é a maior do mundo, achando-se parcialmente coberta por sedimentos posteriores, do Cretáceo (Leins e Amaral, 1978).

Os derrames basálticos no sul do Brasil correspondem a maior manifestação deste tipo de vulcanismo em todo o mundo, possuindo uma área de cerca de 1.200.000 km². abrangendo o oeste de Santa Catarina, noroeste e norte do Rio Grande do Sul,

oeste do Paraná, oeste de São Paulo e ainda o sul de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul e Goiás, estendendo-se, ainda, a outros países como o Uruguai, Argentina e Paraguai.

Durante estes 28 milhões de anos, a rocha basáltica foi escoando através de erupções, que formaram os diferentes derrames apresentando-se no local em camadas.

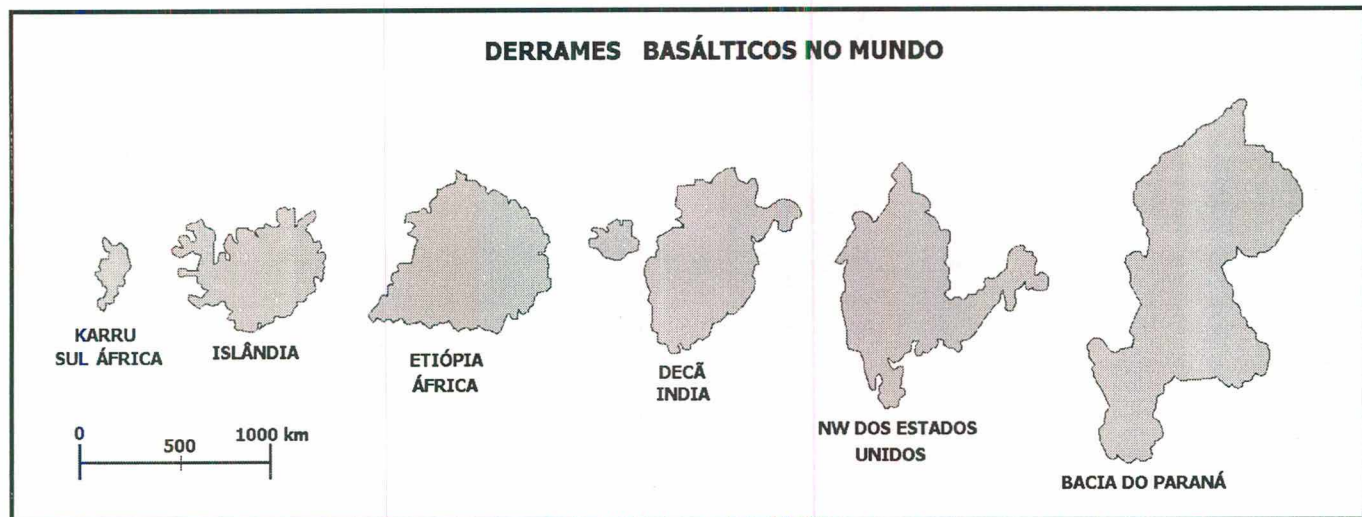


Figura 3.2.4. - Áreas dos principais derrames de lavas basálticas no mundo ocorridas no Mesozóico Inferior e Terciário Superior. (Leins e Amaral, 1978).

Estudos detalhados sobre a composição química dos derrames basálticos do sul do Brasil mostram que o basalto possui uma mineralogia constituída por plagioclásio, piroxênio e opacos (magnetita e ilmenita).

O basalto possui uma textura afanítica, microgranular, algumas vezes amigdaloidal, e é constituído por uma mineralogia essencial composta de:

- plagioclásio cálcico (labradorita – 35-50%);
- augita (20-40%);
- magnetita ou ilmenita (5-15%);

Sua cor cinza-escuro a preta, com tonalidades avermelhadas ou amarronadas, é conferida por óxidos / hidróxidos de ferro gerados pela alteração intempérica.

Pode apresentar estrutura compacta (maciça) ou vesicular/amigdaloidal. No preenchimento das amígdalas podem ocorrer zeólitas, quartzo, carbonato, vidro, e argilominerais.

Por ser o basalto uma rocha básica, sua lava apresenta grande fluidez, espalhando-se por uma grande área. Ao resfriar tende a formar uma sucessão de zonas com características estruturais e texturais distintas como mostra a tabela 3.2.1.

- Podzólico Vermelho Amarelo
- Podzólico Vermelho Escuro
- Podzólico Vermelho Escuro Latossólico
- Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Bruno Acinzentado
- Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Vermelho Escuro
- Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Terra Roxa Estruturada
- Terra Roxa Estruturada
- Vertissolo

O norte do estado do Rio Grande do Sul possui uma grande variedade de tipos de solo, desde os menos aos mais evoluídos segundo a pedogênese. A figura 3.3.1 é uma amostra da diversidade pedológica e ocorrência destes tipos de solos na área em estudo.

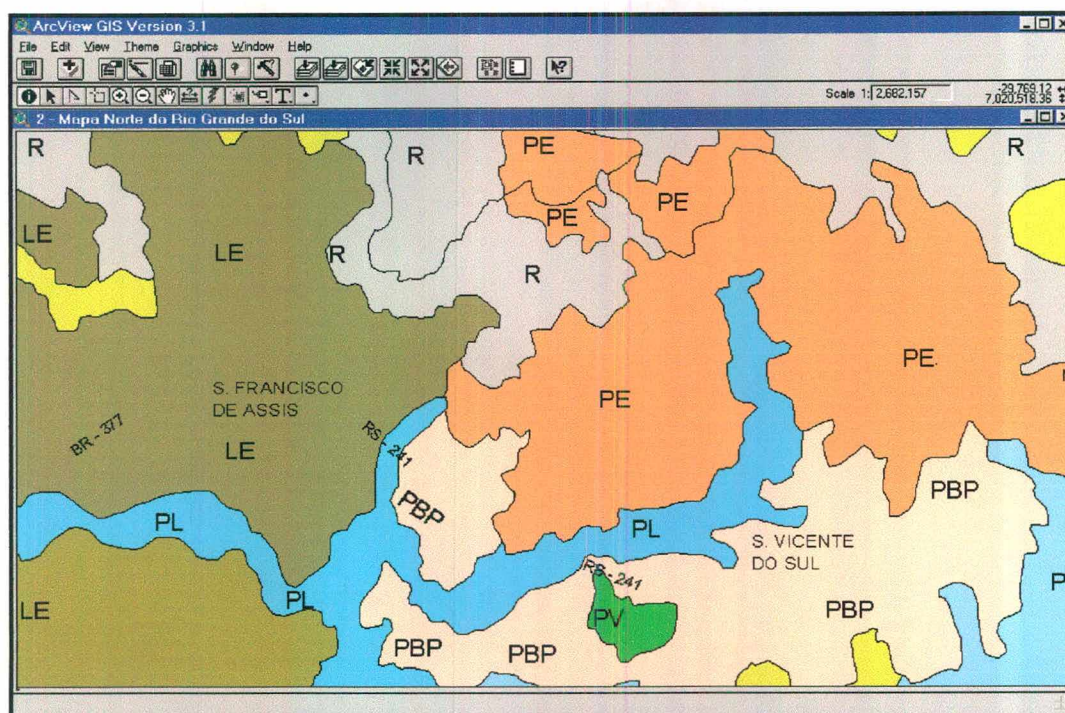


Figura 3.3.1. - Diversidade de solos existente do norte do estado do Rio Grande do Sul.

Segundo pesquisas realizadas por Davison Dias (1985), baseadas no levantamento de Lemos et al. (1973), os principais grandes grupos de solos do Rio Grande do Sul, segundo o grau de desenvolvimento do horizonte B, podem ser descritos de acordo com a tabela 3.3.1.

A relação apresentada mostra, os tipos de solos em ordem decrescente de desenvolvimento com suas respectivas características de hidromorfismo e atividade da argila.

TIPO DE HORIZONTE	ATIVIDADE DA ARGILA	HIDRO-MORFISMO	GRANDES GRUPOS
Latossólico	Baixa	Não	Latossolo Bruno
			Latossolo Húmico
			Latossolo Roxo
			Latossolo Vermelho-Escuro
Textural	Baixa	Não	Podzólico Vermelho-Amarelo
			Laterítico Bruno-Avermelhado
			Terra Roxa estruturada
	Alta	Não	Brunizém Avermelhado
			Brunizém
		Sim	Planossolo
			Brunizém Hidromórfico
Incipiente	Baixa	Não	Cambissolos
Pouco Desenvolvido	Baixa	Não	Litólico Granito
			Litólico Basalto
	Alta	Não	Litólico Basalto
			Litólico Xisto
			Litólico Arenito
	Alta	Sim	Gley Húmico
			Orgânicos
			Vertissolos
			Aluviais
		Não	Areias Quartzosas
		Sim	Areias Quartzosas Hidromórficas

Tabela 3.3.1. - Principais grandes grupos de solos do Rio Grande do Sul, segundo o grau de desenvolvimento do horizonte B, baseado no levantamento de Lemos et al. (1973) de acordo com Davison Dias (1985).

3.3.1. Latossolos do Norte do Estado do Rio Grande do Sul

O Brasil, em termos mundiais, é um dos países que possui maior ocorrência de Latossolos em seu território. Um mapa mundial das áreas prováveis dos principais solos zonais do mundo, apresentado por Lepsch (1993) comprova a ocorrência deste tipo de solo neste país (figura 3.3.1).

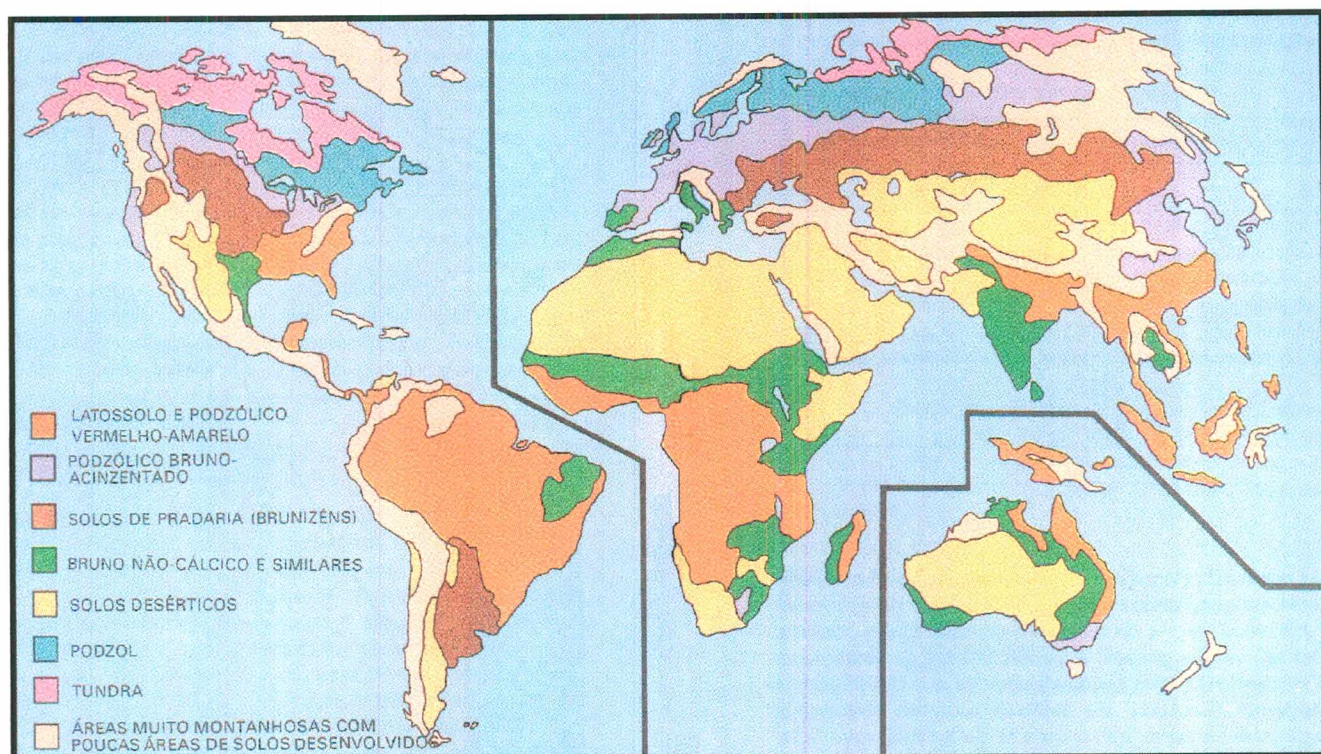


Figura 3.3.1.1. - Áreas prováveis de maior ocorrência dos principais solos zonais do mundo (Adaptado de mapa preparado pelo “Soil Survey Division, U. S. Soil Cons. Service”, EUA).

De acordo com o relevo e clima apresentados anteriormente, o norte do estado do Rio Grande do Sul apresenta-se propício à formação de solos com espesso horizonte B.

Vários tipos de Latossolo, segundo a pedologia, foram encontrados na região em estudo, são eles:

- Latossolo Vermelho-Escuro;
- Latossolos Bruno;
- Latossolo Bruno Câmbico;
- Latossolo Bruno Intermediário para Latossolo Roxo;
- Latossolo Roxo.

Os Latossolos que ocorrem, principalmente, no planalto do estado e na zona das Missões são classificados, segundo a pedologia, como Latossolo Roxo e Vermelho Escuro. Estes tipos de solos são os mais encontrados na região em estudo e podem

apresentar perfis de horizonte B profundo, podendo alcançar de 15 a 20 metros de profundidade.



Fig. 3.3.1.2. - Localização da região do planalto do Norte do Rio Grande do Sul.

Este fenômeno ocorre em razão do processo de intemperismo destruir os minerais da estrutura da rocha de origem, e atuar de forma muito intensa no horizonte B latossólico. Isto torna quase impossível concluir se este horizonte possui origem residual ou transportado, apresentando apenas, os minerais resistentes ao intemperismo como por exemplo o quartzo.

O Latossolo Roxo ocorre em grandes extensões no planalto das Missões e de acordo com o Sistema de Informações Geográficas em cerca de 22.121km². Este tipo de solo é derivado do basalto da Formação Serra Geral. A textura é muito argilosa, porém

podem ocorrer zonas de fração arenosa e teores de óxidos de ferro mais baixos, em decorrência do contato dos arenitos da Formação Tupanciretã (Figura 3.3.1.3).



Figura 3.3.1.3. - Perfil de Latossolo Roxo.

O Latossolo Vermelho Escuro é derivado normalmente do arenito. Mesmo quando oriundo do basalto da Formação Serra Geral, sofre influência do arenito da formação Tupanciretã, evidenciado pela presença de grãos de quartzo ao longo dos perfis. Sua textura é variável de argilosa média a perfis muito argilosos e cobre uma área, segundo o Sistema de Informações Geográficas, de aproximadamente 14.759 km²

O Latossolo Bruno intermediário para Roxo é também oriundo da Formação Serra Geral. Diferencia-se do Latossolo Roxo por apresentar maior grau de desenvolvimento da estrutura, perfis menos profundos com variações de espessura de local para local e cores mais brunadas.

O menos evoluído da classe dos Latossolos é o Latossolo Bruno Câmbico, oriundo da Unidade Vacaria. Este tipo de solo possui o horizonte B com características intermediárias entre B latossólico e B câmbico.

É muito comum, também, a ocorrência de perfis com características intermediárias entre solos tipo Podzólico e Latossolo. Estes tipos de solos são chamados de “Terras Brunas” e “Terras Roxas Estruturadas”. Ocorrem, na maioria das vezes,

tendo o basalto como substrato e são identificados pela presença do horizonte B textural (Bt), que apresenta gradiente textural entre os horizontes A e B, sendo o horizonte B mais argiloso.

Davison Dias (1997) em sua pesquisa sobre o norte do estado do Rio Grande do Sul, define e classifica as unidades geotécnicas dos Latossolos desta região que possuem como substrato o basalto de acordo com a listagem seguinte:

- **Latossolo Vermelho Escuro substrato Basalto – LEB**

O Latossolo Vermelho-Escuro é formado por solos não hidromórficos, minerais com teores de óxido de ferro entre 8 e 18% para os solos de textura argilosa, relação molecular entre óxido de alumínio e óxido de ferro geralmente inferior a 3,14 para textura mais arenosa.

Nesta classe, encontram-se solos porosos a muito porosos e friáveis quando úmidos. São solos que, quando derivados do basalto da Formação Serra Geral, sofrem a influência do arenito da formação Tupanciretã (Terciário), evidenciado pela presença de grãos de quartzo ao longo dos perfis. A textura varia de argilosa a média, ocorrendo, nas áreas de contato com o Latossolo Roxo, perfis muito argilosos.

Os solos derivados do arenito da Formação Tupanciretã ocorrem nas proximidades de Cruz Alta e Tupanciretã, leste de Santiago e sul de Santo Ângelo e São Luís Gonzaga.

- **Latossolo Roxo substrato basalto - LRb**

O Latossolo Roxo é formado por solos não hidromórficos, minerais com horizonte B latossólico e teores de óxido de ferro superiores a 18%. São solos cujas características se aproximam aos Latossolos Roxos Modais. Entretanto, apresentam muitas vezes uma estrutura mais desenvolvida no horizonte B, com estrutura forte muito pequena, granular com aspecto de "pó de café. Tais características permitiram que os Latossolos Roxos Modais fossem considerados como uma variação subtropical dentro da classe Latossolo Roxo.

São solos derivados do basalto da Formação Serra Geral, referida ao Juracretáceo e ocorrem em grandes extensões no Planalto das Missões. A textura é

muito argilosa, mas em áreas de contato com os arenitos da Formação Tupanciretã, há um aumento na fração arenosa e os teores de óxidos de ferro são inferiores.

- **Latossolo Bruno intermediário para Latossolo Roxo substrato basalto – LBRb**

Estes diferenciam-se dos Latossolos Roxos por apresentarem um maior grau de desenvolvimento da estrutura, perfis menos profundos com variações de espessura de local para local e cores mais brunadas. O contraste de coloração através de observações de torrões é mais acentuado quando se comparam os de um corte de Vacaria (solos brunos) com os de um corte em direção a Santo Ângelo (solos roxos). São encontrados na região fisiográfica de Campos de Cima da Serra, em relevo suave ondulado e ondulado e desenvolvem-se a partir do basalto da formação Serra Geral. O perfil descrito no levantamento, situa-se na estrada Vacaria-Lagoa Vermelha.

- **Latossolo Bruno Câmbico substrato Basalto – LBCb**

Estes solos apresentam o horizonte B com características intermediárias entre um horizonte B latossólico e B câmbico. São os solos menos evoluídos dentro da classe dos Latossolos. Na fração argila a constituição mineralógica dominante é a caulinita. Podem ocorrer menores proporções de argilo-minerais 2:1 cloritizados e óxidos de ferro, essencialmente goetita (Klampt, 1989). São solos de coloração brunadas no horizonte B.

Suas ocorrências variam de 900 a 1.100 m nas proximidades de Vacaria e são oriundos de basalto da Formação Serra Geral.

No novo levantamento de solos desenvolvido pelo projeto RADAMBRASIL (IBGE, 1986) os solos foram enquadrados em unidades pedológicas sem uso de nomes regionais. Esta prática facilita o trabalho de campo. Vários levantamentos de solos feitos pela Embrapa, os mais novos, já utilizam este procedimento. A classificação do solo foi feita como descreve Camargo et al. (1986).

3.3.2. Descrição das Demais Unidades Pedológicas do Norte do Estado do Rio Grande do Sul

Através de estudos baseados na pedologia, é possível obter informações geotécnicas importantes e assim, estimar o comportamento dos solos.

Desta forma, antes de analisar as propriedades geomecânicas dos Latossolos, faz-se uma breve descrição de todos os tipos de solos que ocorrem no norte do estado do Rio Grande do Sul, segundo a pedologia, e descreve-se alguns de seus respectivos perfis típicos.

- Podzólicos e Similares

Os podzólicos são de regiões de clima úmido, com perfis bem desenvolvidos, profundidade mediana (1,5 a 2 metros), moderadamente ou bem intemperizados e, ao contrário dos Latossolos, têm comumente diferenciação marcante entre os horizontes. Ocorrem em relevos mais acidentados do que o Latossolo. Neles existe um horizonte B avermelhado ou vermelho-amarelado, que mostra claramente a acumulação de argila.

- Brunizém ou Solos de Pradaria

Estes tipos de solos são pouco espessos, geralmente não ultrapassam um metro de profundidade e apresentam-se não muito intemperizados. Vários tipos de substratos de origem podem constituir o material. A topografia onde ocorrem possui formas variadas, desde colinas baixas até planícies extensas.

- Solos Hidromórficos

São os que se desenvolveram sob a influência do lençol freático alto estando, na maior parte do tempo saturado com água. Esta condição ocorre comumente em regiões de clima úmido, em áreas de topografia plana, nas encostas imediatamente adjacentes aos rios e lagos ou nas depressões fechadas. Existem dois tipos principais de solos hidromórficos: os orgânicos e os minerais.

- **Vertissolos**

São solos normalmente cinza-escuros, com elevado teor de argila montmorilonítica, possuem propriedades expansivas, com endurecimento e contração por secagem. Situam-se normalmente em baixadas planas ou quase planas. Em consequência da contração das argilas na estação seca, a superfície destes solos apresenta uma grande quantidade de fendilamentos. As fendas, em muitos casos podem variar de 10 a 20 centímetros de largura na superfície e estendem-se a profundidades de 50 centímetros a um metro.

- **Terra Bruna Estruturada**

São os solos que compreendem solos minerais não-hidromórficos, argilosos ou muito argilosos, cor bruna amarelada com tonalidade tendente a escura. Derivam de rochas de derrames variáveis de basaltos a riodacitos e de rochas alcalinas efusivas ou plutônicas. Possui horizonte B com coloração pouco expressiva e marcado pela estrutura em blocos. Apresenta contração com a secagem e atividade relativamente alta da argila.

- **Terra Roxa Estruturada**

São tipos de solos que compreendem solos minerais, não hidromórficos. Possuem cor vermelha escura com pequena variação em sua tonalidade, apesar de possuírem alto teor de argila são bastante porosos. Apresentam horizonte B textural com estrutura em blocos e argila de baixa atividade.

- **Cambissolos**

São solos que compreendem solos não hidromórficos, com drenagem variando de acentuada a imperfeita, horizonte A seguido de B incipiente, não plântico, de textura franco-arenosa ou mais fina. Possuem variação de horizontes A-B-C usualmente modesta, mas diferenciável. São solos derivados dos mais diversos materiais de origem e encontrados sob condições climáticas variadas. Quando derivados de rochas como

gnaisse, granitos, migmatitos, xistos, filitos, é usual a presença (> 4%) de fragmentos de rochas e/ou minerais primários facilmente intemperizáveis, pelo menos areia fina.

- **Plintossolo**

São solos que compreendem solos minerais hidromórficos ou com restrições de percolação d'água. Possui aspecto variegado, consistindo em aglomeração de manchas compondo uma mistura de cores bem contrastantes, em que ficam realçadas as partes vermelhas formadas pela plintita. São encontrados em relevo plano e suavemente ondulado, áreas deprimidas, planícies aluvionais ou em situações que impliquem escoamento lento, alagamento temporário ou situações de trânsito subsuperficial da água no solo.

- **Areias Quartzosas**

Classe de solos que compreende solos minerais, casualmente orgânicos na superfície, hidromórficos ou não, geralmente profundos e essencialmente quartzosos, com menos de 15% de argila. Possuem perfis de extrema simplicidade, limitando-se a diferenciação à expressão de horizonte A formado por materiais arenosos de composição quartzosas. Ocorrem na faixa litorânea, especialmente no Rio Grande do Sul, no sul de Santa Catarina, norte da Bahia e da Paraíba e Piauí (EMBRAPA, 1981), onde as areias quartzosas marinhas são predominantes. As areias quartzosas hidromórficas são pouco expressivas em extensão e ocorrem principalmente em bordas de veredas e de alguns cursos d'água.

- **Glei**

A palavra Glei indica intensa redução de ferro durante o desenvolvimento do solo, sob condições de má drenagem ou alagamento. As cores destes solos são próximas das neutras cinza-azuladas correspondendo ao ferro ferroso. Podem apresentar-se com mosqueados ou não.

Classe de solos que compreende solos minerais hidromórficos. São solos mal ou muito mal drenados, com forte gleização. São desenvolvidos em várzeas, áreas deprimidas, planícies aluvionais, locais de terras baixas, vinculadas a excesso d'água,

ou mesmo em bordas de chapadas em áreas de surgência de água subterrânea (Brasil, 1969).

- **Dunas**

Atualmente consideradas como tipos de terreno e não como solos, devido a ausência de processos pedogenéticos em sua formação. São originadas de deposições eólicas de materiais areno-quartzoso, que mantém certa movimentação. Ocorrem, em sua maioria, em faixas nos litorais.

- **Litólicos**

São solos pouco desenvolvidos, rasos, que exibem seqüência de horizontes A e R ou A, C e R. Possuem o horizonte A assente diretamente sobre a rocha-matriz ou sobre um pequeno horizonte C, geralmente com muito material de rocha em decomposição. Apresentam-se bem, a muito drenados e com características morfológicas, físicas e químicas muito variáveis em função do material de origem.

- **Planossolos**

São tipos de solos que compreendem os solos minerais hidromórficos ou não ocorrendo em áreas baixas, imperfeitamente drenados, onde o relevo permite excesso de água permanente ou temporário, ocasionando fenômenos e redução que resultam em perfis de cores cinzentas, indicativas de processos de *gleização*.

Apresentam seqüência de horizontes A, B e C onde o horizonte superficial é eluvial, apresentando-se com textura arenosa ou média, que contrasta abruptamente com o horizonte B subjacente, de elevada concentração de argila, usualmente de atividade alta.

4. METODOLOGIA DE TRABALHO

A metodologia proposta para esta dissertação baseia-se na utilização da metodologia de Mapeamento Geotécnico de Grandes Áreas empregada no sul do Brasil em conjunto com o uso de um Sistema de Informações Geográficas. A pesquisa utiliza conhecimentos de pedologia e geologia para a construção do mapa geotécnico.

A utilização do sistema de informações geográficas integra os mapas com os gráficos de resultados de ensaios geotécnicos laboratoriais e de campo, fotos de perfis típicos de solos e tabelas com dados relacionados a pontos e polígonos.

A metodologia de execução deste trabalho foi dividida em algumas etapas básicas como segue descrito no fluxograma da figura 4.1.

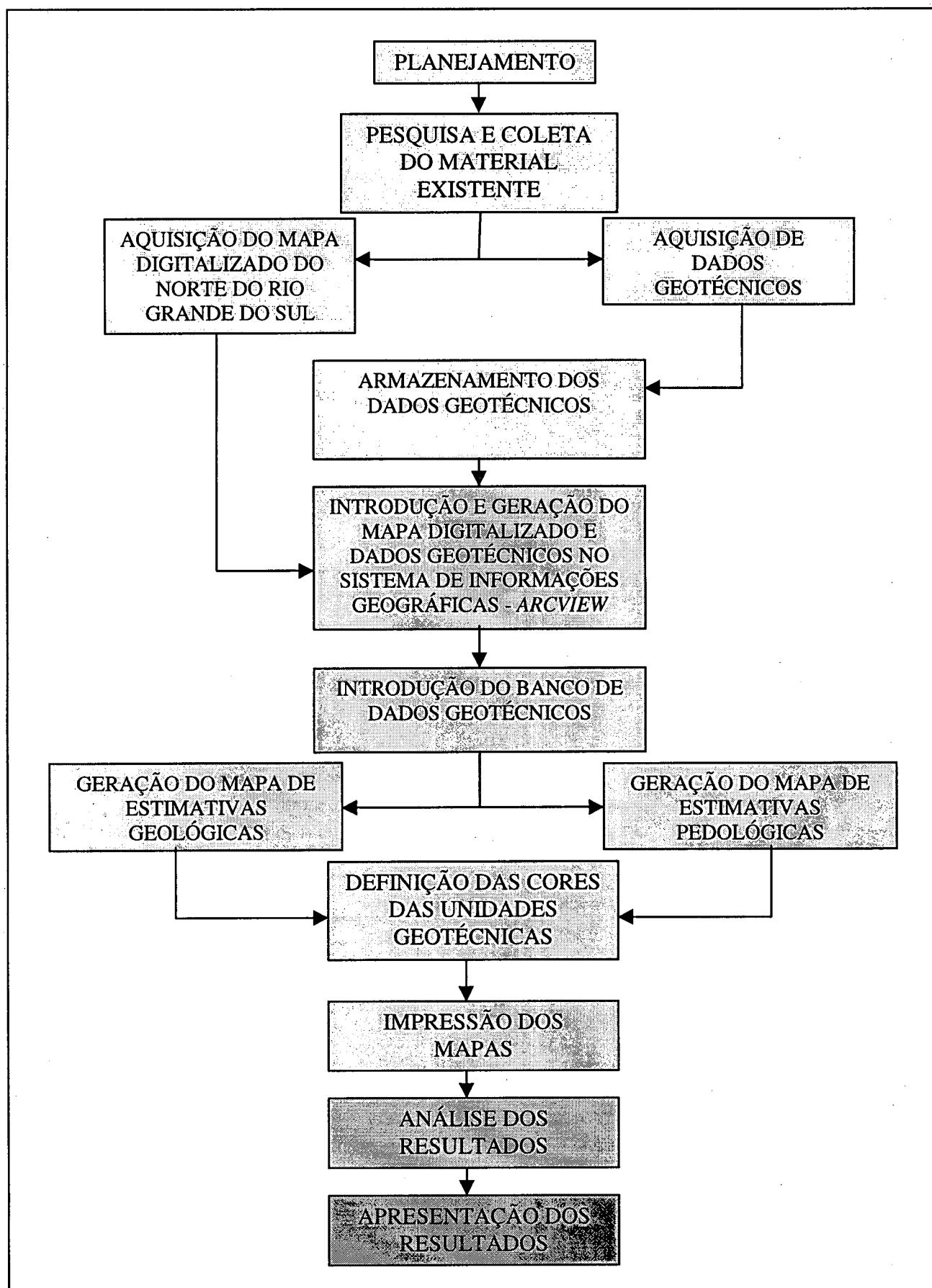


Figura 4.1. Descrição da metodologia empregada.

4.1. Coleta de Dados Geotécnicos

Os dados foram coletados em dissertações, artigos, livros, teses, entre outros materiais que continham informação georreferenciada. Porém, a base de todo o levantamento de informações para a estruturação do banco de dados, foi o relatório técnico de um projeto PADCT, onde Davison Dias (1997) analisou, com o auxílio da pedologia e geologia, o norte do estado do Rio Grande do Sul.

Ensaiois laboratoriais e de campo foram coletados a fim de um melhor entendimento do comportamento geomecânico dos Latossolos desta localidade. Para os dados coletados, foram retiradas amostras, indeformadas e deformadas, em um total de cento e uma (101) localidades no norte do estado para ensaios de caracterização, cisalhamento direto, adensamento, colapsividade, etc.

Foi dada maior atenção aos solos evoluídos, que a pedologia trata com a denominação de Latossolos. Para visualização dos mesmos, foram escaneadas fotos de perfis de Latossolos característicos e associados ao Sistema de Informações Geográficas.

A coleta de dados foi realizada em planilhas eletrônicas, tabelas e gráficos.

Tabelas

As tabelas foram geradas inicialmente em um programa computacional antigo, o LOTUS. Suas extensões tiveram que ser transformadas em texto (.txt). Isto se deve ao fato de que o Sistema de Informações Geográficas utilizado permite apenas este tipo de inclusão.

A figura 4.1.1 mostra uma das tabelas utilizadas para a inserção dos dados no software.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2	SIMBOL	LOCAL	SIGLA	HORIZ.	UNIDADE	MAT. ORIGEM	MAT. ORIG	PROF. m	PEDREG.	GRANULOMETRIA COM D
3										AR.GROS AR.MEDI
5	SF1	S.FRANC.	LVE	B	CA	AREN.	A	1,50	0,00	0,00 5,00
6	CA1	CRUZ ALTA	LVE	B	CA	AREN.	A	1,50	0,00	0,00 5,00
7	CA2	CRUZ ALTA	LVE	B	CA	AREN.	A	2,50	0,00	0,00 5,00
8	PF1	PAS. FUNDO	LVE	B	PF	AR./BAS	A/B	1,50	0,00	0,00 4,00
9	PM1	PALM.MIS.	LVE	B	PF	AR./BAS	A/B	1,50	0,00	0,00 4,00
10	EC1	ERECHIM	LR	B	EC	BASAL.	B	1,50	0,00	0,00 1,00
11	SJ1	SAO JORGE	LR	B	EC	BASAL.	B	1,50	0,00	0,00 1,00
12	IJ1	IJUI	LR	B	SA	BASAL.	B	1,50	0,00	0,00 3,00
13	SA1	SAN.ANGEL	LR	B	SA	BASAL.	B	1,50	0,00	0,00 1,00
14	SA2	SAN.ANGEL	LR	B	SA	BASAL.	B	2,50	0,00	0,00 1,00
15	SA3	SAN.ANGEL	LR	B	SA	BASAL.	B	3,50	0,00	0,00 1,00
16	LV1	LAG.VERM	LH	B	D	BASAL.	B	1,50	0,00	0,00 1,00
17	VA1	VACARIA	LB	B	V	BASAL.	B	1,50	0,00	0,00 1,00
18	SB2	S.BARBARA	LVE	B	CA	AREN.	A	2,00	0,00	0,00 13,00
19	SR1	S.ROSA	LR	B	SA	BASAL.	B	1,50	0,00	0,00 1,00
20	CAR1	CARAZINHO	LVE	B	CA	AREN.	A	1,50	0,00	0,00 6,00
21	PF21	PAS.FUNDO	LVE	B	PF	AR./BAS	A/B	1,50	0,00	0,00 2,00
22	TA2	CAR-PANAM	LVE	B	PF	AR./BAS	A/B	2,50	0,00	0,00 2,00
23	TB2	CAR-PANAM	LVE	B	PF	AR./BAS	A/B	2,00	0,00	0,00 3,00
24	NP1	NOVA PRA.	LH	B	D	BASAL.	B	1,50	0,00	0,00 2,00
25	PA2	PANAMBI	LR	B	SA	BASAL.	B	2,00	0,00	0,00 2,00
26	SO1	SOLEDADE						1,50		
27	TAP1	TAPERA	LR	B	EC	BASAL.	B	1,50	0,00	0,00 4,00
28	MAR1	MARAU	LR	B	EC	BASAL.	B	1,50	0,00	0,00 3,00
29	PA11	PANOSTARD	PVA	B	CA	GRANIT.	G	1,50	0,00	6,00 14,00
30	MAR1	MARINGA	LVE	B	AREN.	AREN.	A	1,50	0,00	0,00 0,00

Figura 4.1.1. Tabela utilizada para a inserção de dados ao Banco de dados Geotécnico.

Gráficos

Muitos dos gráficos do Sistema de Informações Geográficas foram introduzidos em planilhas eletrônicas de forma peculiar. Em razão de muitos destes gráficos estarem apenas em papel, foi necessária a utilização de *softwares* de CAD para transforma-los em planilhas eletrônicas.

Após a construção dos gráficos, foi necessária a transformação de extensões, como a *.xls* em extensões de figura, como as *.bmp*, *.gif*, *.tif*, *.jpeg*, etc. Isto teve de ser feito para que fosse melhorada a resolução dos gráficos quando solicitados.

Uma forma pouco mais trabalhosa foi feita para os gráficos do cisalhamento direto. Em razão destes se encontrarem apenas em papel e seus dados para a construção dos gráficos perdidos, foram inicialmente escaneados e posteriormente georreferenciados, para que os dados não perdessem a qualidade de suas informações. A figura 4.1.2 mostra o exemplo de uma curva de cisalhamento direto (tensão x deformação) que foi georreferenciada para serem extraídos os dados para a construção do gráfico.

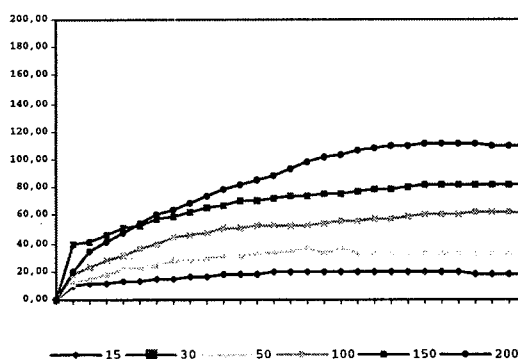


Figura 4.1.2. Gráfico de cisalhamento direto escaneado e georreferenciado.

Figuras

As figuras que foram inseridas neste trabalho, em sua maioria, são pertencentes ao livro “Classes Gerais de Solos do Brasil” (Oliveira, 1992). Diversas outras fontes foram também consultadas, porém, de forma pouco menos representativa.

O processo de inserção destas figuras foi semelhante ao dos gráficos. Foram escaneadas e transformadas em arquivos de figura para que, posteriormente, fizessem parte do banco de dados de perfis de solos. Estes perfis estão relacionados ao mapa pedológico gerado, porém tanto o mapa geotécnico quanto o litológico, aceitam a inserções de perfis típicos de cada unidade da região.

4.2. Planejamento da Utilização dos Dados Geotécnicos

Após a reunião dos dados geotécnicos, iniciou-se um planejamento para a utilização de todas as informações coletadas durante o primeiro processo da metodologia.

Tentou-se traçar, nesta etapa, todas as possibilidades da melhor utilização destas informações geotécnicas.

Determinou-se então, que a utilização de um mapa geotécnico georreferenciado inserido a um Sistema de Informações Geográficas, associado a gráficos, dados geotécnicos em tabelas, fotos e informações adicionais, seria a melhor maneira de analisar a região de interesse.

Para a formulação do mapa geotécnico, foi empregada a metodologia de mapeamento geotécnico utilizada no sul do Brasil.

O *software ArcView* de SIG demonstrou ser o mais acessível para a inserção deste mapa geotécnico e para a formulação do banco de dados associado, e por esta razão foi empregado para a edição do mapa.

O sistema *ArcView* apresenta ferramentas que integram informações geográficas de várias origens, o que possibilita uma interface maior com outros tipos de *softwares*.

Na integração desta ferramenta com as demais interfaces, podemos nos basear na figura 4.2.1. que demonstra a maleabilidade deste sistema com informações advindas de outras fontes.

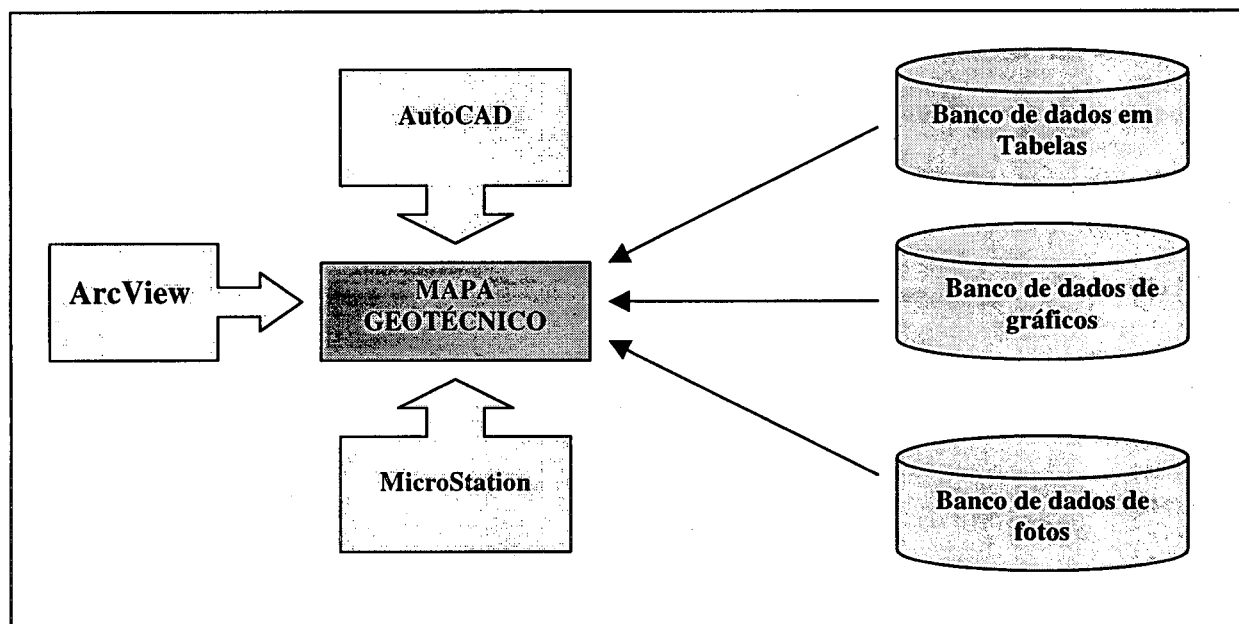


Figura 4.2.1. – Interface do *software ArcView*.

4.3. Coleta da Informação Espacial

O mapa do norte do estado do Rio Grande do Sul, de escala 1:1.000.000, foi digitalizado anteriormente com o auxílio de uma mesa digitalizadora. Posteriormente, através de um CAD (*Computer Aided Design*), foi adicionado ao software *ArcView*, que é uma ferramenta de Sistema de Informações Geográficas como mostra a figura 4.3.1.,

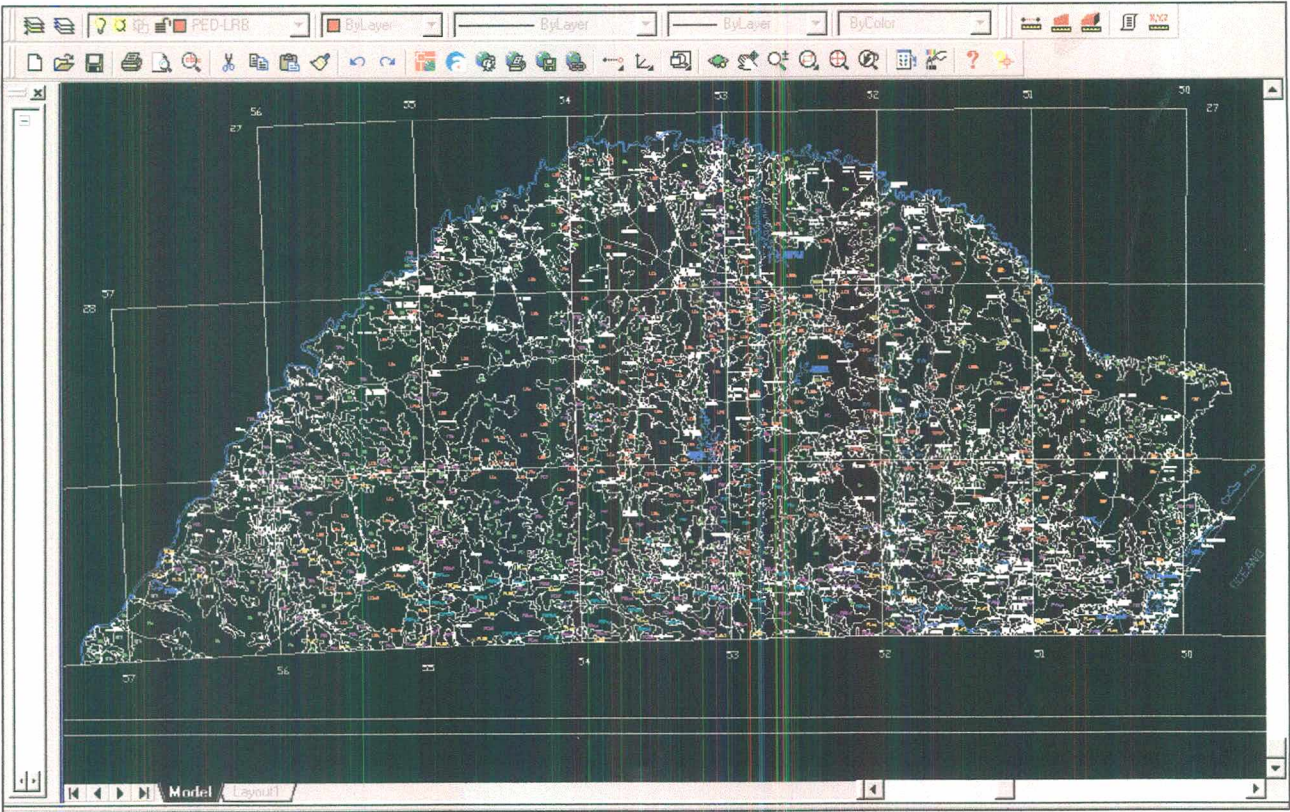


Figura 4.3.1. – Mapa do Norte do estado do Rio Grande do Sul no CAD.

Houve a necessidade ainda da editoração deste mapa em polígonos, além de demais ajustes requeridos no processo.

Após a aquisição dos dados referentes aos ensaios geotécnicos, é utilizado o programa *ArcView GIS* para que seja armazenada a informação. Neste, os dados são arquivados em tabelas ligadas aos temas, as quais são inseridas nos campos necessários, contendo os atributos correspondentes às feições do mapa.

4.4. Tratamento e Análise da Informação Espacial Através do *Software* do *SIG ArcView*

Através da utilização do *software ArcView* foi montada uma estrutura de organização das informações para que, a medida em que novas informações fossem geradas, fossem implementados mais campos e estruturas adaptáveis ao software.

Para esta estruturação, foram utilizadas tabelas correspondentes a cada feição. Caso existam outras informações referentes a outros tipos de ensaios geotécnicos, haverá a necessidade de organização das mesmas em bancos de dados mais estruturados. Para adicionar dados referentes aos tipos de ensaios descritos e pesquisados, não é necessária a criação de novas tabelas, podendo-se apenas inserir informações em forma de linhas em tabelas preexistentes.

Os tipos de informações contidas no programa estão listados a seguir:

- **tabelas:** foram criadas em planilhas eletrônicas e inseridas com extensão “.txt” para que não existissem conflitos entre versões e associadas a polígonos e pontos como mostra a figura 4.4.1;
- **gráficos:** foram criados tanto a partir das tabelas quanto em outros programas. Foram transformados em figuras para que fossem inseridos em forma de *view* e visualizados de maneira mais definida possível como mostra a figura 4.4.2. O programa possui gráficos de cisalhamento direto (tensão de cisalhamento x deformação horizontal, deformação vertical x deformação horizontal e envoltória de tensões), adensamento (pressão x índice de vazios, pressão módulo de resistência volumétrica, pressão x deformação e pressão x C_c C_r C_d) e gráficos de SPT com respectivas camadas e nível do lençol freático;

- **fotos:** foram coletadas e escaneadas de livros, e outras fontes. As fotos foram inseridas em forma de *view* no sistema, para poderem ser acessadas de maneira mais rápida e com uma definição visual melhor como mostra a figura 4.4.3.

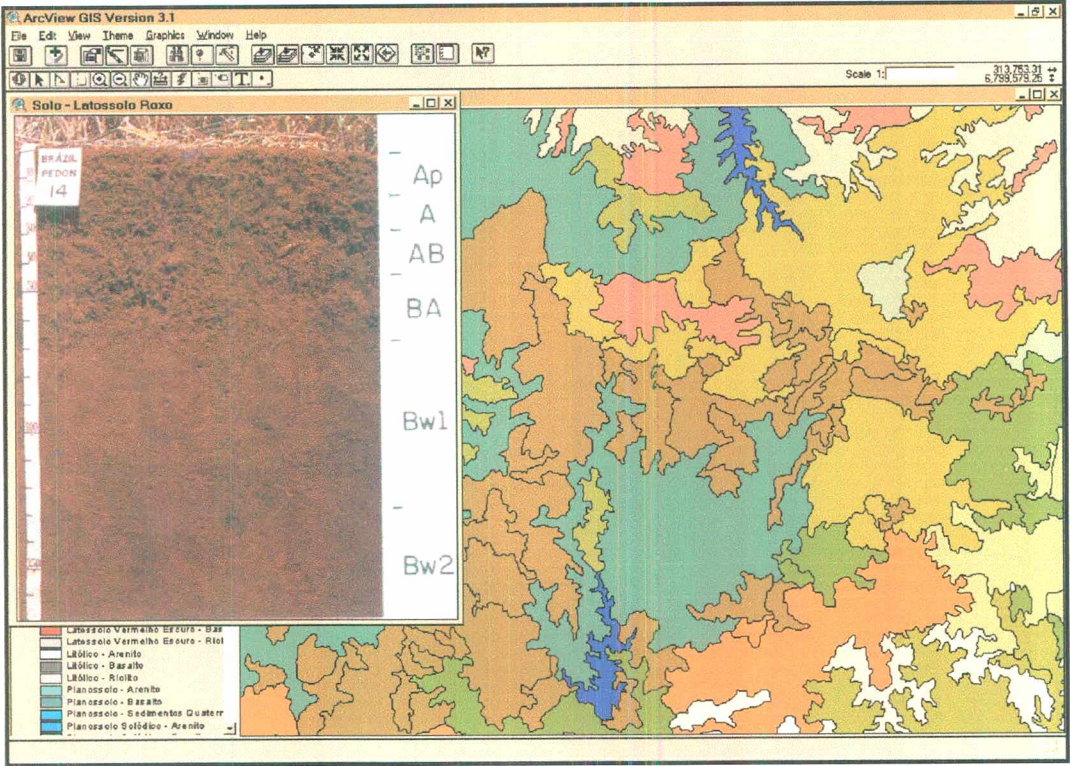


Figura 4.4.3. - Fotos de perfis típicos de solos associados a polígonos.

Foram coletados e analisados um total de mais de 100 localidades no norte do estado do Rio Grande do Sul, resultando em pontos de amostragem.

4.5. Revisão das Informações Geotécnicas Adquiridas

Após a coleta dos dados adquiridos, foram revisados todos os gráficos, tabelas e demais informações, para que na etapa de geração dos mapas de estimativa geológica e pedológica, não fossem agravados os possíveis erros gerados no início desta etapa.

4.6. Geração dos Mapas de Estimativa Pedológica e Litológica

A partir do mapa de unidades geotécnicas inserido no Sistema de Informações Geográficas foi possível criar os mapas de estimativa pedológica e litológica, utilizando-se dos recursos que este sistema possui.

Estes mapas foram criados para que, com o emprego do Sistema de Informações Geográficas, seja possível obter um número maior de informações pertinentes a litologia e a pedologia do solo, suas localizações e áreas.

4.6.1. Mapa de Estimativas Litológicas

Na construção do mapa litológico, selecionou-se o substrato dominante da unidade geotécnica para que os polígonos se posicionassem em um mesmo campo.

Com a seleção e a eliminação da informação dominante (pedologia) na unidade geotécnica, somaram-se as informações litológicas iguais para que fossem criadas unidades inteiriças. Para o final do processo, ordenou-se a formação de polígonos e implementou-se as cores correspondentes à geologia.

A figura 4.6.1.1 mostra o exemplo de um Latossolo Vermelho-Escuro com substrato riolito (LEr). Esta unidade agrupa-se com as demais unidades ao seu redor e forma uma única unidade de estimativa geológica correspondente ao riolito.

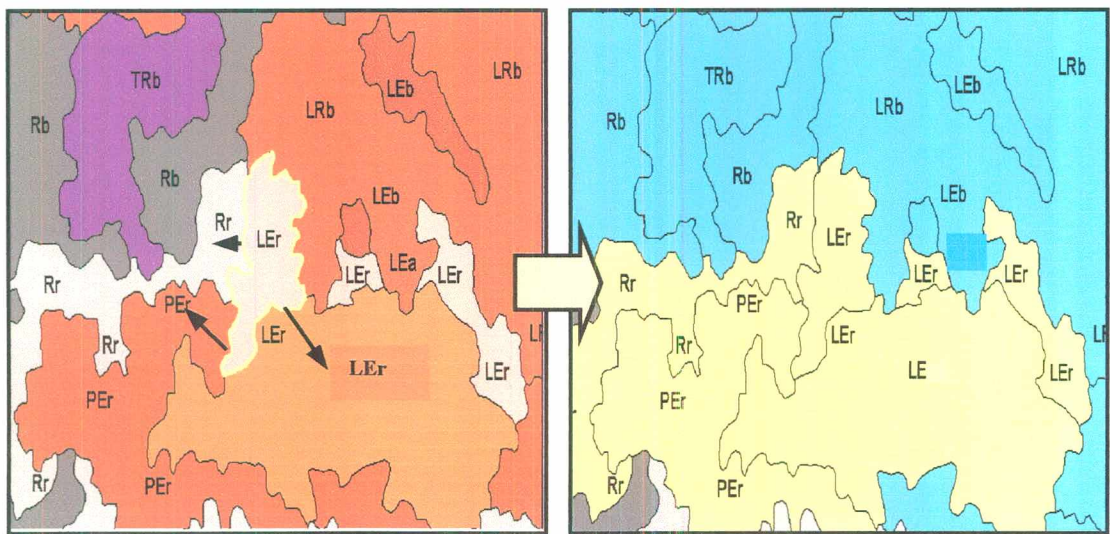


Figura 4.6.1.1. - União das unidades geotécnicas a partir do substrato.

4.6.2. Mapa de Estimativas Pedológicas

Para a construção do mapa de estimativas pedológicas, foram excluídos os substratos das unidades geotécnicas para que fossem criados polígonos. O procedimento da criação destas unidades de estimativa pedológica é o mesmo das unidades geológicas como mostra a figura 4.6.1.2. As cores adotadas nestas unidades são as utilizadas na ciência pedológica tradicional.

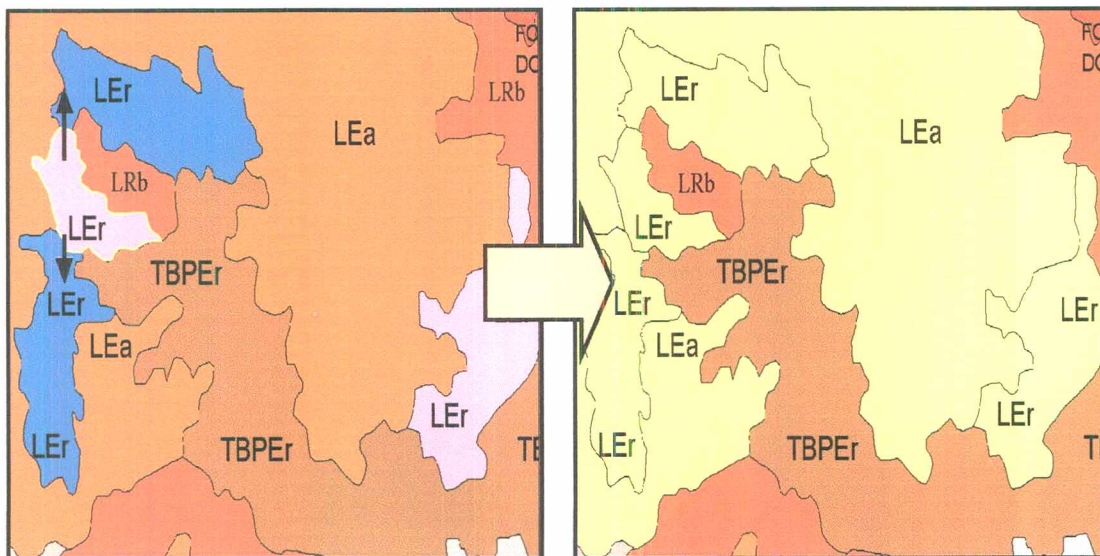


Figura 4.6.2.1. - Exemplo da união da pedologia a partir das unidades geotécnicas.

4.7. Análise e Gerenciamento de Informações

A caracterização das unidades geotécnicas do norte do Rio Grande do Sul, através de um sistema de informações geográficas, tem como objetivo principal proporcionar a diferenciação de universos geotécnicos, com posterior utilização em outros universos geotécnicos semelhantes e a acessibilidade de um banco de dados associado aos mapas.

Com todas as informações inseridas no software de Sistema de Informações Geográficas, várias análises podem ser realizadas baseadas nestes dados geotécnicos utilizando-se os recursos deste sistema:

- determinação das áreas das unidades geotécnicas e estimativa litológica e pedológica;

- comparação entre os dados inseridos no SIG, como os gráficos de adensamento, cisalhamento direto e SPT;
- comparação dos resultados dos gráficos com as características das unidades geotécnicas;
- análise numérica, através das tabelas, dos resultados dos ensaios de cisalhamento direto, adensamento, colapsividade, compactação, granulometria, etc.;
- verificação do comportamento geomecânico dos solos e comparação visual através de fotos de perfis característicos.

4.8. Utilização das Cores nas Unidades Geotécnicas

A metodologia de trabalho proposta na presente dissertação, consiste na criação de um banco de dados geotécnicos associados a um mapa geotécnico com cores pré-definidas.

A determinação da cor do solo é de grande importância para a identificação do horizonte, refletindo tanto a sua composição mineralógica como o ambiente de formação e grau de evolução pedológico. A pedologia utiliza-se da escala de Munsell, que demonstra ser a mais conhecida e um dos sistemas mais precisos de identificação de cores.

Desta forma, tentou-se reproduzir as cores referentes ao horizonte B destas unidades geotécnicas, principalmente para os solos mais desenvolvidos.

A introdução das cores nas estimativas das unidades geotécnicas foi realizada selecionando cada unidade a ser alterada. A partir da escolha, são variadas as tonalidades das cores como demonstrado na figura 4.8.1.

A litologia, na unidade geotécnica, é utilizada como substrato do perfil de solo. Da mesma forma, a litologia foi utilizada como base das cores, cumprindo a função de apenas variar a tonalidade de uma determinada cor de solo. São mudadas apenas as tonalidades de uma cor base, permanecendo os demais recursos do sistema sem alteração.

As cores dos Latossolos foram definidas tendo por base a cor predominante do solo em seu horizonte B. A variação da tonalidade entre estas unidades geotécnicas originadas dos Latossolos de mesma pedologia, foi realizada também de acordo com seu substrato. A figura 4.8.3 mostra o exemplo de uma unidade geotécnica denominada Latossolo Vermelho Escuro, substratos arenito, basalto, riolito, arenito riolito e arenito siltito.

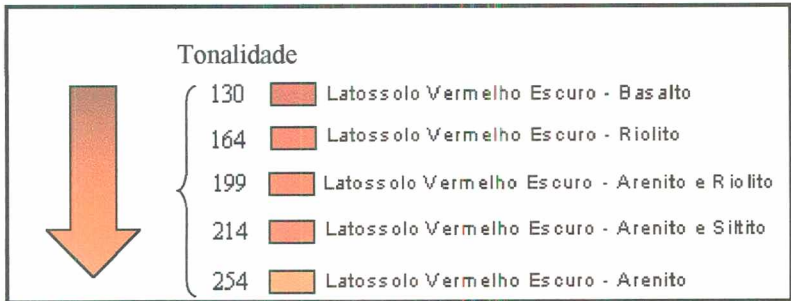


Figura 4.8.3. - Exemplo de cores das unidades geotécnicas dos Latossolos.

Os solos hidromórficos foram representados através de cores que indiquem a oscilação e presença de lençol freático em seu perfil de solo. Neste caso a cor azul como base foi adotada para este tipo de perfil e sua tonalidade variada da mesma forma como descrito para os Latossolos como mostra a figura 4.8.4.

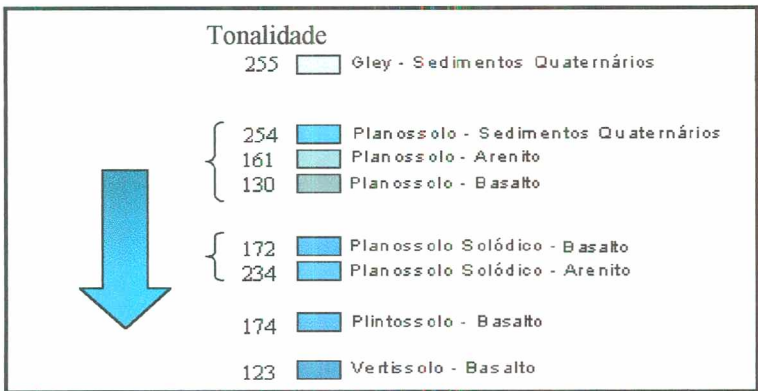


Figura 4.8.4. - Exemplo de cores das unidades geotécnicas de alguns solos Hidromórficos.

A figura 4.8.5 mostra que para os solos litólicos foram estipuladas as cores cinza e a variação da tonalidade da mesma forma dos Latossolos, indicando que a presença da rocha está próxima à superfície. A figura seguinte demonstra a sequência crescente da

tonalidade de cinza para as unidades geotécnicas Litólicos de substrato basalto, riolito, arenito respectivamente.

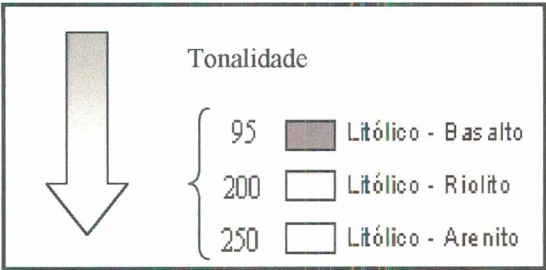


Figura 4.8.5. - Exemplo de cores das unidades geotécnicas dos solos Litólicos.

4.9. Produto Final do Emprego da Metodologia

As view dos mapas foram divididas em duas para que o gerenciamento das informações se tornasse mais acessível. Desta forma, para acessar os mapas de ensaios geotécnicos, estimativa litológica e pedológica, é necessário a seleção da view correspondente aos mesmos (fig 4.9.1).

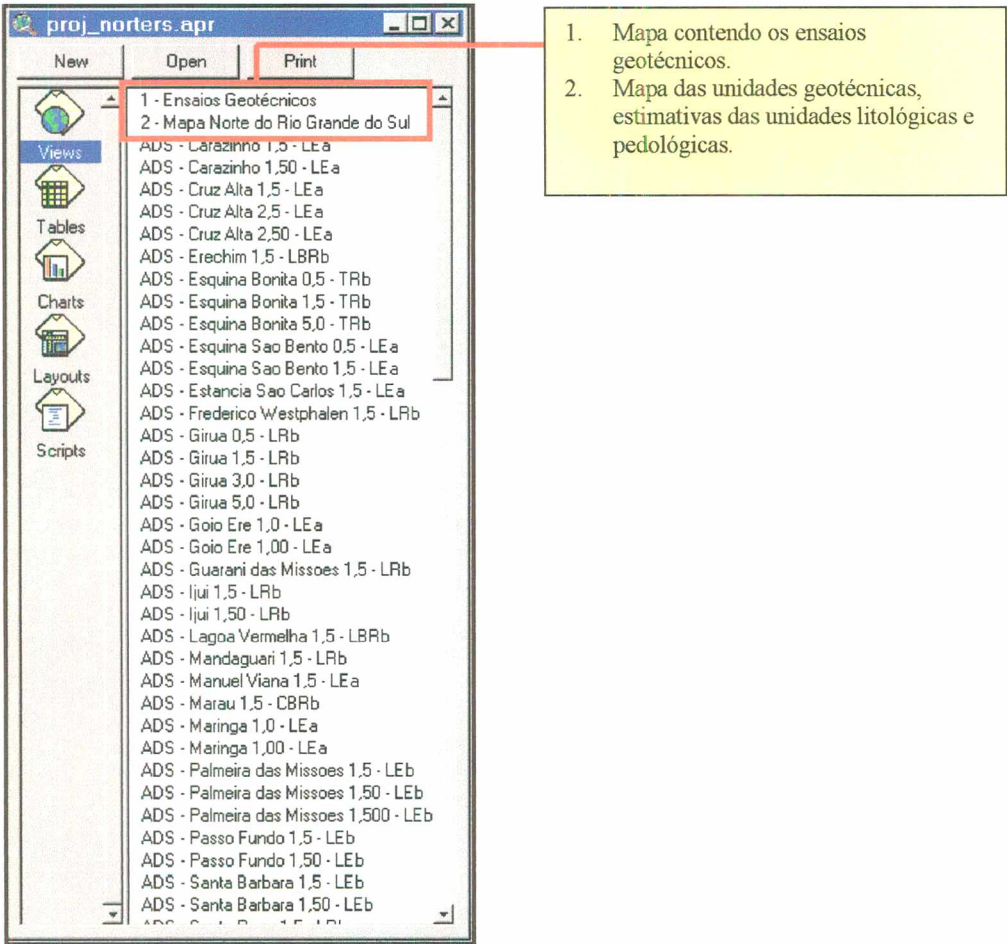


Figura 4.9.1. - Seleção da view.

Os mapas geotécnicos, litológico e pedológico, produtos do Sistema de Informações Geográficas, são integrados a pontos referentes a amostras de solos coletadas. Todas as amostras que possuíam informação espacial foram indexadas ao mapa, e pontos foram inseridos para que estas informações fossem acessadas. Desta forma, o mapa que contém os resultados apresenta-se de acordo com a figura 4.9.2.

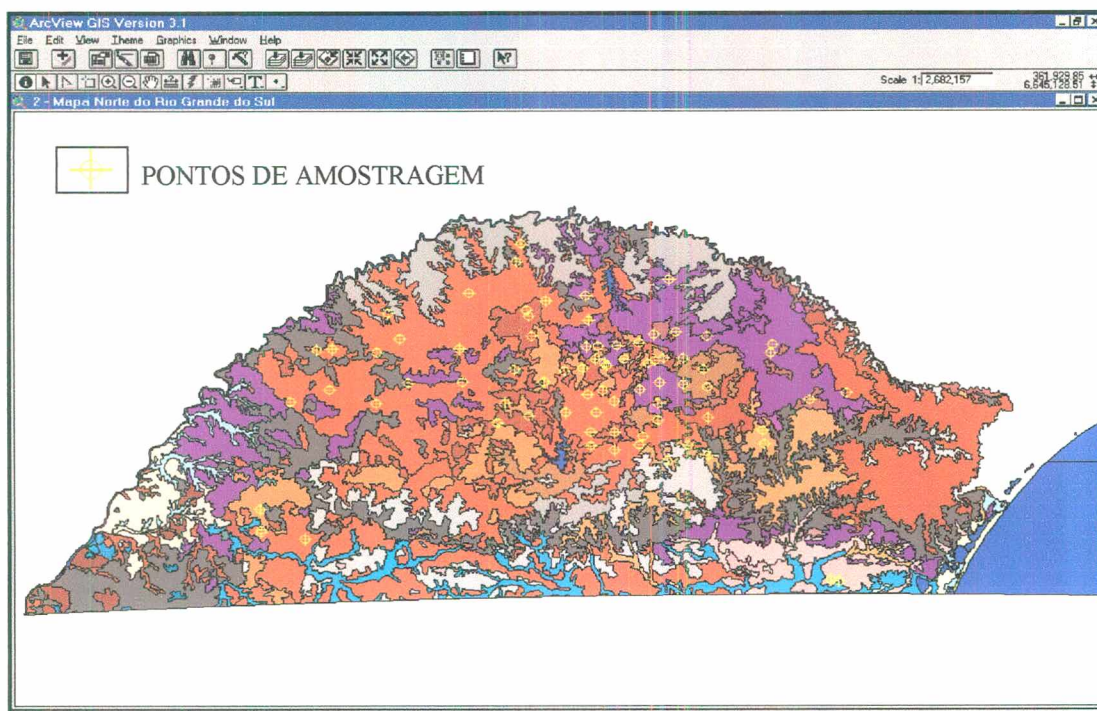


Figura 4.9.2. - Pontos de coleta de amostras.

Todos os pontos de coletas de amostras estão referenciadas a tabelas dos respectivos ensaios geotécnicos ou a gráficos dos mesmos. Podem ser acessadas através da barra de rolagem lateral, selecionando o tipo de ensaio, e solicitadas através dos pontos georreferenciados no mapa, como mostra a figura 4.9.3.

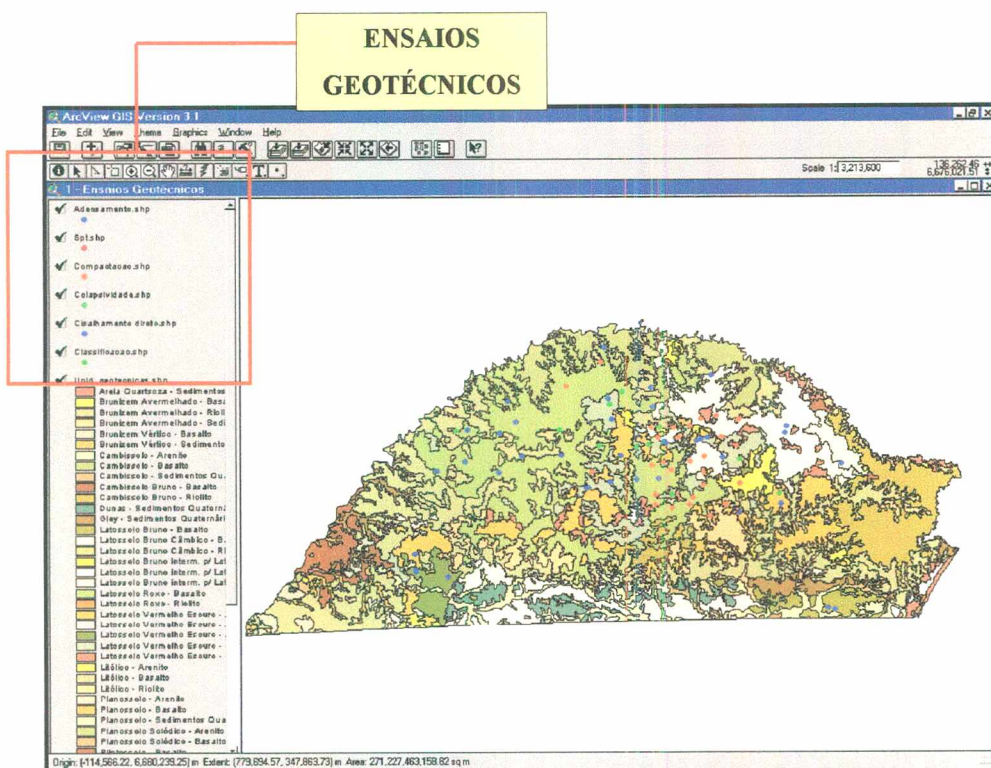


Figura 4.9.3. – Ponto de coleta dos ensaios geotécnicos.

4.10. Acessibilidade do Banco de dados Geotécnico

Após os dados estarem todos reunidos em um banco de dados e inseridos ao Sistema de Informações Geográficas, a forma de acesso demonstrou ser bastante simplificada. Tanto gráficos, fotos de perfis típicos, quanto tabelas, como a apresentada na figura 4.10.1, podem ser acessadas de forma instantânea através do *software* utilizado.

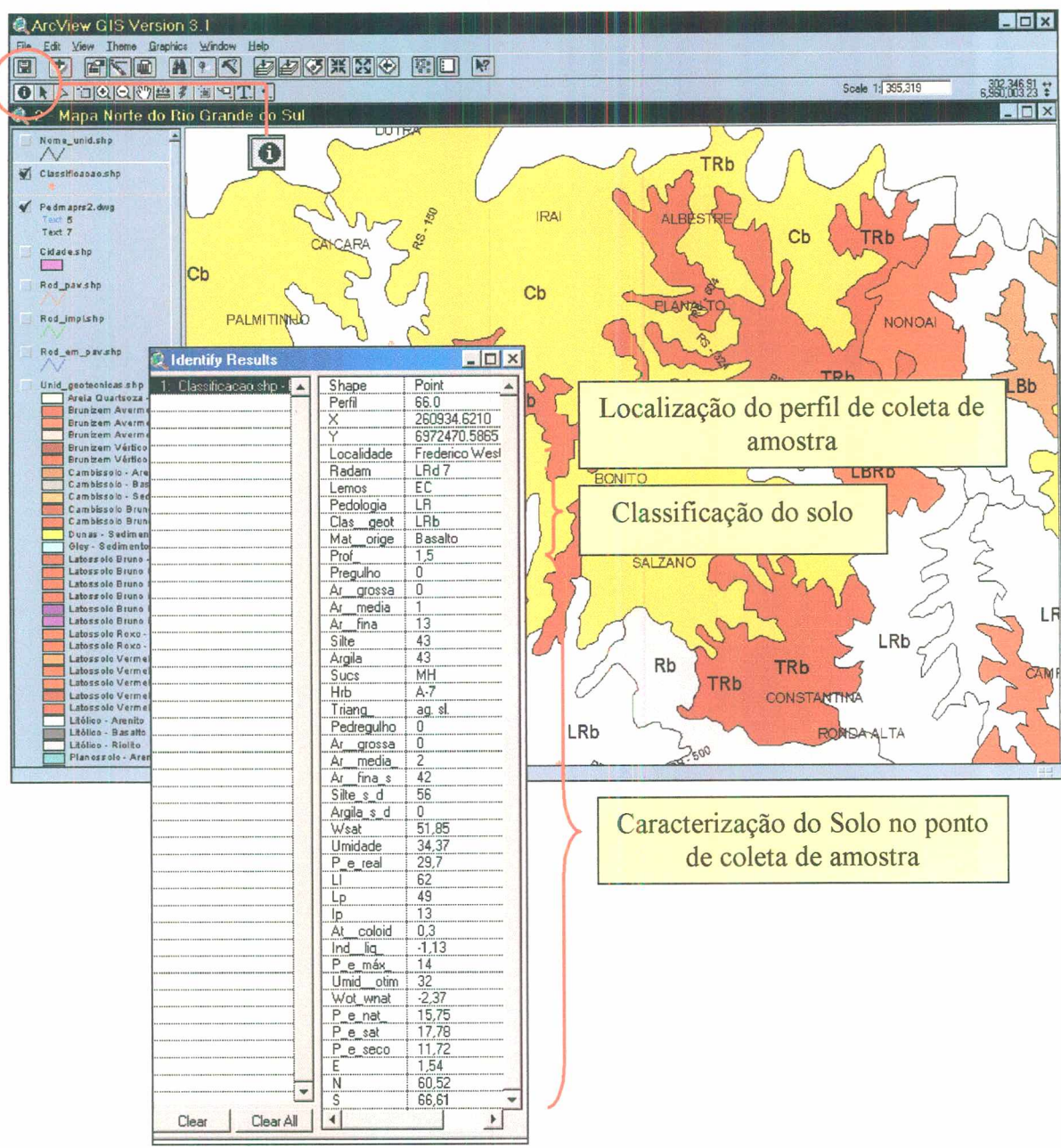


Figura 4.10.1. – Utilização da ferramenta *identify*, no acesso de informações geotécnicas da localidade Frederico Westphalen.

Através dos ícones “hot link” e “identify” , é possível acessar as figuras e fotos do banco de dados que está associado ao mapa. A figura 4.10.2 demonstra o acesso de uma foto de um perfil típico de um Latossolo Bruno Roxo do norte do Rio Grande do Sul.

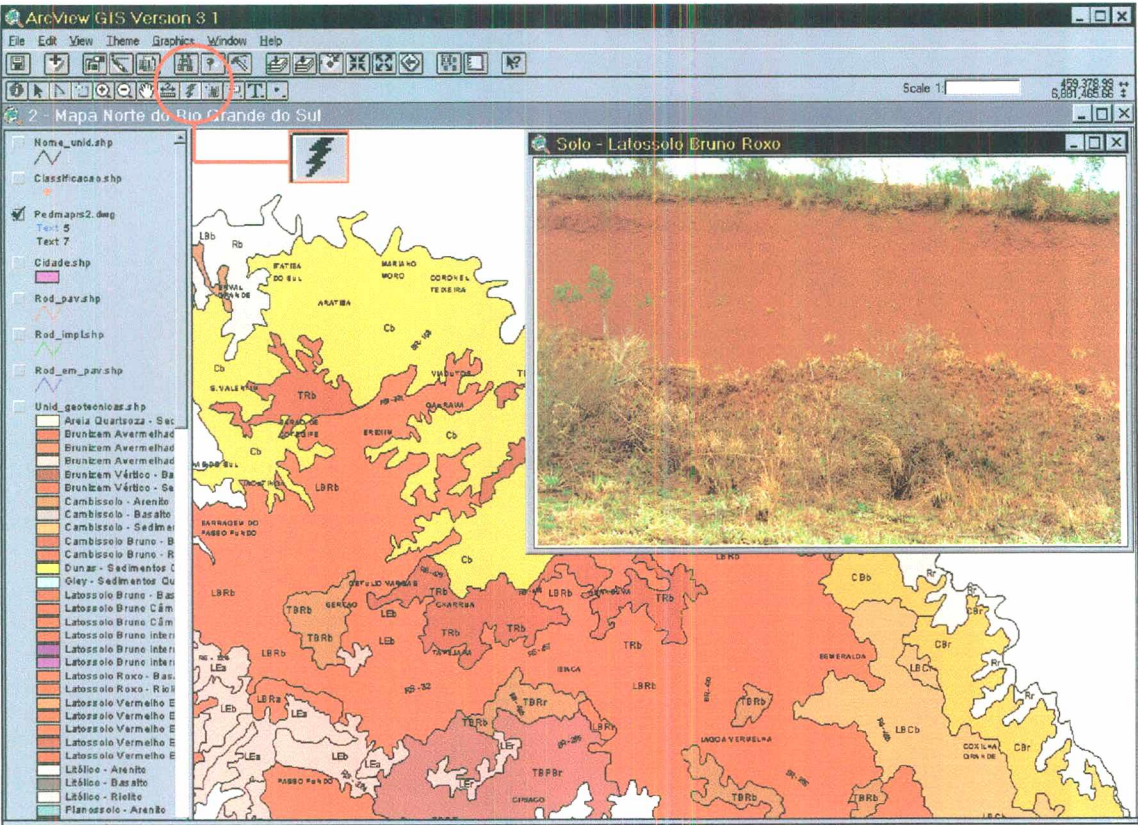


Figura 4.10.2. – Utilização da ferramenta *Hot Link*, no acesso de um perfil típico de um Latossolo Bruno Roxo, no banco de dados geotécnicos.

5. MAPA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS DO NORTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

5.1. Mapa Geotécnico

A área total mapeada para o estudo desta localidade resultou em aproximadamente 162.800 km². Utilizou-se a escala de 1 : 1.000.000 para a realização deste mapa.

Como resultado do mapeamento geotécnico, foi gerado anteriormente um mapa geotécnico do norte do estado do Rio Grande do Sul em meio digital. Este mapa foi inserido em um Sistema de Informações Geográficas *ArcView* e as unidades, resultantes deste mapeamento, são apresentadas a seguir. O mapa da figura 5.1.1, demonstra o mapa geotécnico e sua interface com o *software* empregado.

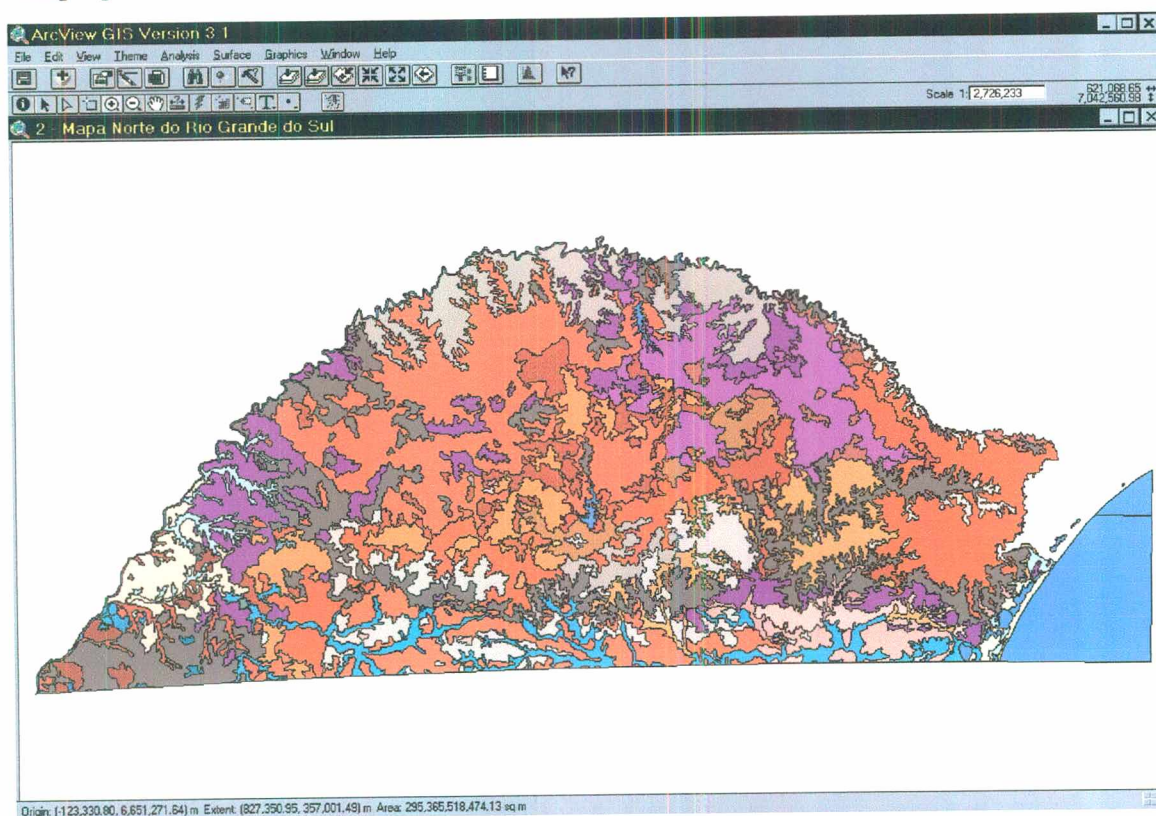


Figura 5.1.1. - Mapa de unidades geotécnicas no norte do estado do Rio Grande do Sul.

No mapa, foram inseridos pontos de referências, como lagos, rodovias, cidades, etc., para que o mesmo possa ser empregado em futuros trabalhos. Estas referências podem ser úteis para a localização de amostragens, em razão de se tratar de um sistema de informações geográficas.

De acordo com o mapa gerado, é possível efetuar considerações, não apenas, a respeito de sua geotecnia, mas também a respeito de sua geologia e pedologia.

A partir do mapa geotécnico, foram criados dois outros mapas, o de estimativas pedológicas, contendo a classificação dos solos e o de estimativas geológicas, contendo as principais litologias da região em estudo.

Na comparação entre o mapa geotécnico e os demais mapas criados, é possível perceber que as unidades geológicas e pedológicas são muito menos detalhadas que as unidades geotécnicas criadas, demonstrando assim, a importância da criação destas unidades geotécnicas para uma melhor identificação e visualização do comportamento do solo. O item 5.2 mostra estas unidades com mais clareza para efeito comparativo.

O Mapa de Unidades Geotécnicas, apresentado nesta dissertação, constitui-se em um levantamento exploratório, em razão da complexidade dos solos tropicais e subtropicais. Estes tipos de solos exigem ainda muito estudo de seu comportamento, para que sejam realizadas previsões e análise de dados das características geotécnicas mais realistas de cada unidade.

5.1.1. Unidades Geotécnicas.

Segundo o mapa geotécnico, o norte do estado do Rio Grande do Sul apresentou um total de 54 unidades geotécnicas.

De acordo com este mapa gerado, é possível perceber que os substratos, ou litologia, destes tipos de solos são predominantemente o basalto, arenito, arenito e riolito, arenito e siltito, riolito e sedimentos quaternários.

Com o mapa inserido no ArcView, foi possível através dos recursos do sistema de informações geográficas determinar as áreas de cada unidade geotécnica. O gráfico 5.1.1.1 e a tabela 5.1.1.1 demonstram a porcentagem destas unidades para uma melhor visualização.

Unidades Geotécnicas	Unidades	Porcentagem	Área (km²)
Areia Quartzosa - Sedimentos Quaternários	AQsq	0,5580	908,2483819
Brunizem Avermelhado - Basalto	BVb	1,2195	1984,9740210
Brunizem Avermelhado - Riolito	BVr	0,2770	450,8294113
Brunizem Avermelhado - Sedimentos Quaternários	BVsq	0,4805	782,1745489
Brunizem Vértico - Basalto	BVb	0,7639	1243,3625210
Brunizem Vértico - Sedimentos Quaternários	BVsq	0,7934	1291,4390960
Cambissolo - Arenito	Ca	0,0506	82,4249428
Cambissolo - Basalto	Cb	5,5278	8997,5181680
Cambissolo - Sedimentos Quaternários	Csq	0,4860	790,9776628
Cambissolo Bruno - Basalto	CBb	0,1936	315,1459166
Cambissolo Bruno - Riolito	CBr	5,5327	9005,3989210
Dunas - Sedimentos Quaternários	DNsq	0,0180	29,2657955
Glei - Sedimentos Quaternários	HGsq	1,1774	1916,3648970
Latossolo Bruno - Basalto	LBb	0,0774	125,9164547
Latossolo Bruno Câmbico - Basalto	LBCb	0,8497	1383,0300770
Latossolo Bruno Câmbico - Riolito	LBCr	0,0568	92,4585277
Latossolo Bruno interm. p/ Latossolo Roxo - Arenito	LBRa	0,2464	400,9935129
Latossolo Bruno interm. p/ Latossolo Roxo - Basalto	LBRb	6,2384	10154,1409400
Latossolo Bruno interm. p/ Latossolo Roxo - Riolito	LBRr	0,3125	508,6113328
Latossolo Roxo - Basalto	LRb	13,5667	22082,3565000
Latossolo Roxo - Riolito	LRR	0,0243	39,4963336
Latossolo Vermelho Escuro - Arenito	Lea	4,1160	6699,5849620
Latossolo Vermelho Escuro - Arenito e Riolito	LEa,r	0,0329	53,5696887
Latossolo Vermelho Escuro - Arenito e Siltito	LEa,s	1,2878	2096,1753960
Latossolo Vermelho Escuro - Basalto	LEb	2,9281	4766,0172150
Latossolo Vermelho Escuro - Riolito	LEr	0,7026	1143,6669060
Litólico - Arenito	Ra	0,0718	116,9386613
Litólico - Basalto	Rb	14,1109	22968,0169000
Litólico - Riolito	Rr	3,8771	6310,6969760
Planossolo - Arenito	Pla	0,0377	61,3092737
Planossolo - Basalto	PLb	0,0270	43,9298511
Planossolo - Sedimentos Quaternários	Plaq	3,6782	5986,9348200
Planossolo Solódico - Arenito	PLSa	0,0735	119,5610058
Planossolo Solódico - Basalto	PLSb	0,1192	193,9789317
Plintossolo - Basalto	PTb	1,9243	3132,0877470
Podzólico Bruno Acinzentado - Riolito	PBPr	1,0893	1772,9816080
Podzólico Bruno Acinzentado Planossólico - Arenito e Siltito	PBP _{a,s}	2,1177	3446,9123120
Podzólico Vermelho Amarelo - Arenito	PVa	1,0646	1732,8906340
Podzólico Vermelho Amarelo - Arenito e Siltito	PV _{a,s}	1,4610	2378,0754860
Podzólico Vermelho Amarelo - Basalto	PVb	0,0920	149,6803242
Podzólico Vermelho Amarelo - Sedimentos Quaternários	PVsq	0,0693	112,8330100
Podzólico Vermelho Escuro - Arenito	PEa	0,2465	401,2566688
Podzólico Vermelho Escuro - Arenito e Siltito	PE _{a,s}	4,1234	6711,5726840
Podzólico Vermelho Escuro - Basalto	PEb	0,3791	617,1134786
Podzólico Vermelho Escuro - Riolito	PEr	3,5113	5715,2393920
Podzólico Vermelho Escuro Latossólico - Sedimentos Quaternários	PELsq	0,0573	93,2473162
Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Bruno Acinzentado - Riolito	TBPBr	3,5406	5763,0508040
Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Vermelho Escuro - Arenito	TBPEa	0,0357	58,1280266
Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Vermelho Escuro - Basalto	TBPEb	0,0969	157,6777416
Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Vermelho Escuro - Riolito	TBPEr	1,7224	2803,4470090
Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Terra Roxa Estruturada - Basalto	TBRb	0,8604	1400,4988630
Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Terra Roxa Estruturada - Riolito	TBRr	0,1112	180,9372607
Terra Roxa Estruturada - Basalto	TRb	7,9019	12861,7074300
Vertissolo - Basalto	Vb	0,0819	165,7143701
Total		100	162800,5607000

Tabela 5.1.1.1. - Distribuição da área das unidades geotécnicas no norte do estado do Rio Grande do Sul.

5.2. Mapa de Estimativas Litológicas e Pedológicas

Através do mapa geotécnico foi possível criar os mapas de estimativas de litologia e pedologia no norte do estado do Rio Grande do Sul.

Utiliza-se o termo estimativas, pois usualmente, a criação de cada um dos mapas, geológico e pedológico, deve ser realizada partindo de uma carta base, geralmente em papel, onde o mapa é *escaneado*, *digitalizado*, georreferenciado e posteriormente sobreposto ao outro mapa para que seja gerado o mapa geotécnico. Porém, neste caso, o mapa base que foi submetido a este processo foi o geotécnico, e a partir do mesmo, foram criados os demais mapas.

Deve-se então atentar ao fato, de que os referidos mapas de estimativa litológica e pedológica, podem conter pequenas falhas, devido a este processo inverso de criação, erros estes que para a escala trabalhada (1:1.000.000) tornam-se insignificantes.

MAPA LITOLÓGICO DO NORTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

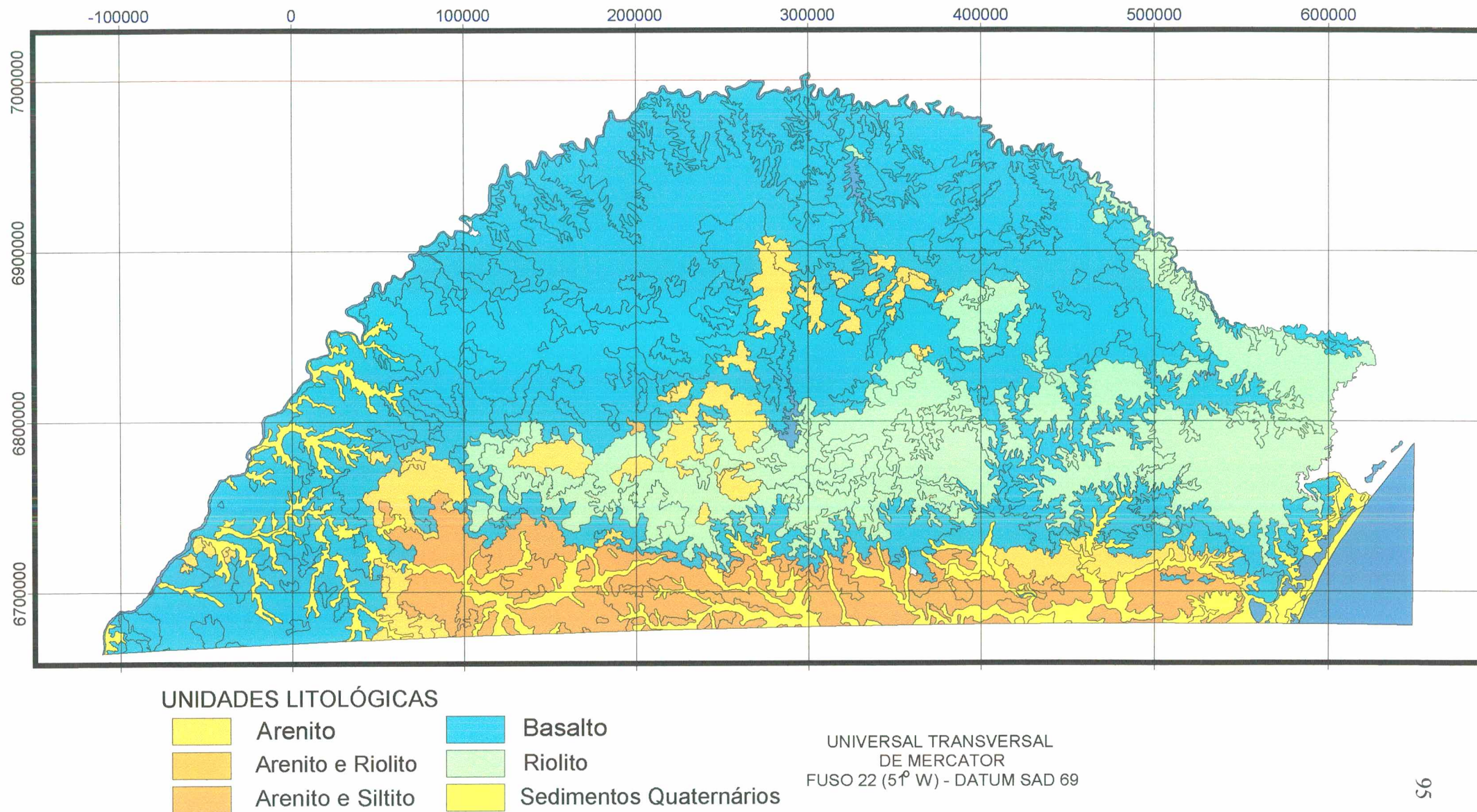


Figura 5.2.1. - Mapa litológico do norte do estado do Rio Grande do Sul.

MAPA PEDOLÓGICO DO NORTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

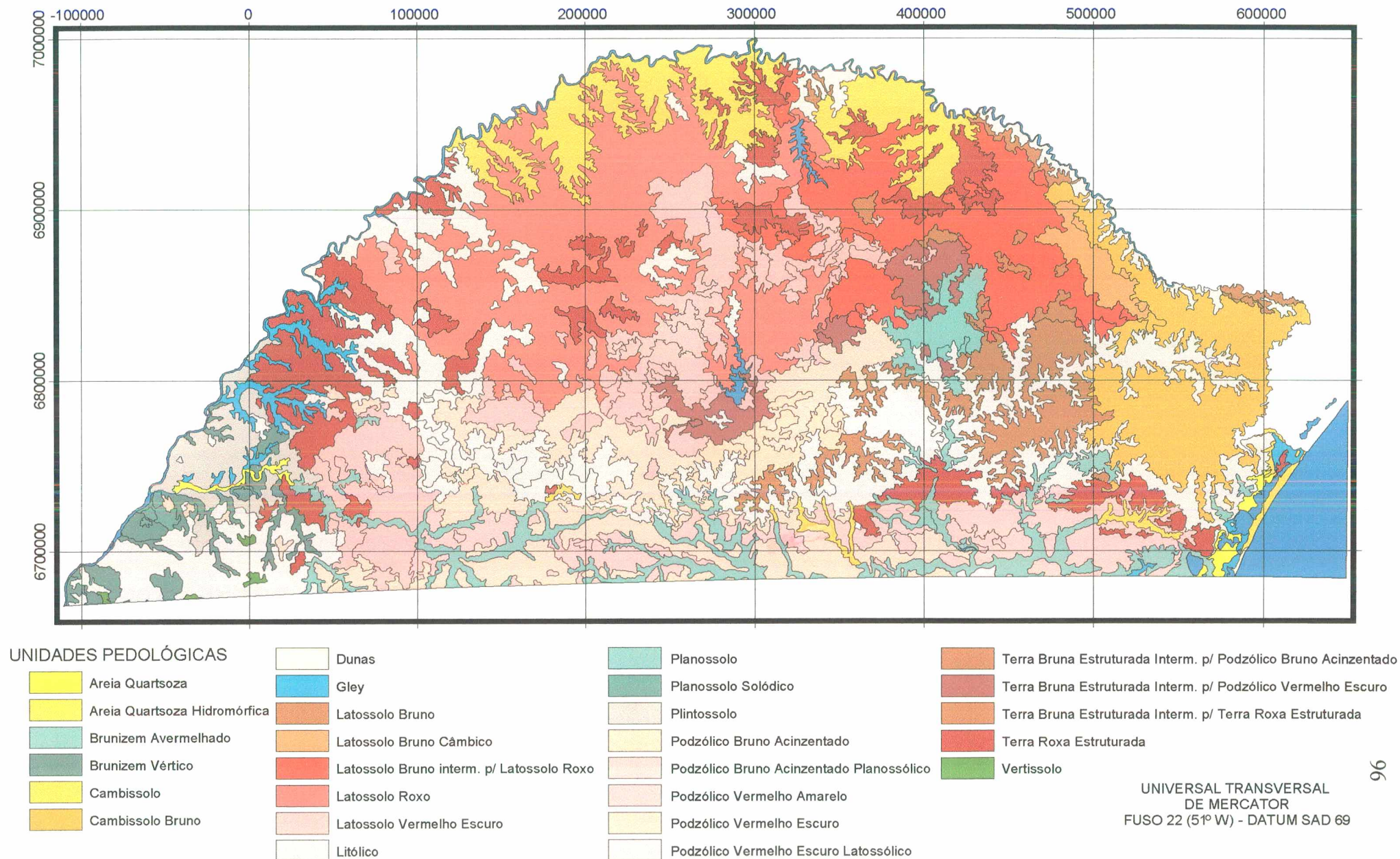


Figura 5.2.2. - Mapa pedológico do norte do estado do Rio Grande do Sul

5.3. Unidades Litológicas e Pedológicas

As unidades litológicas e pedológicas foram criadas no *ArcView*, através do mapa geotécnico, com o intuito de prover a interface de uma estimativa visual mais rápida destas unidades e a utilização dos recursos do sistema de informações geográficas para estas unidades.

5.3.1. Unidades Litológicas

O mapa de estimativas de unidades litológicas resultou em apenas 6 diferentes litologias. A geologia, devido o pequeno detalhamento de suas unidades, não deve ser o único parâmetro a ser estimado no comportamento do solo visando obras civis.

Através do mapa de unidades litológicas, em conjunto com os recursos do SIG, é possível perceber que a porcentagem de ocorrência do basalto corresponde a mais da metade da área estudada, resultando em 59,97% deste substrato (figura 5.3.1.1).

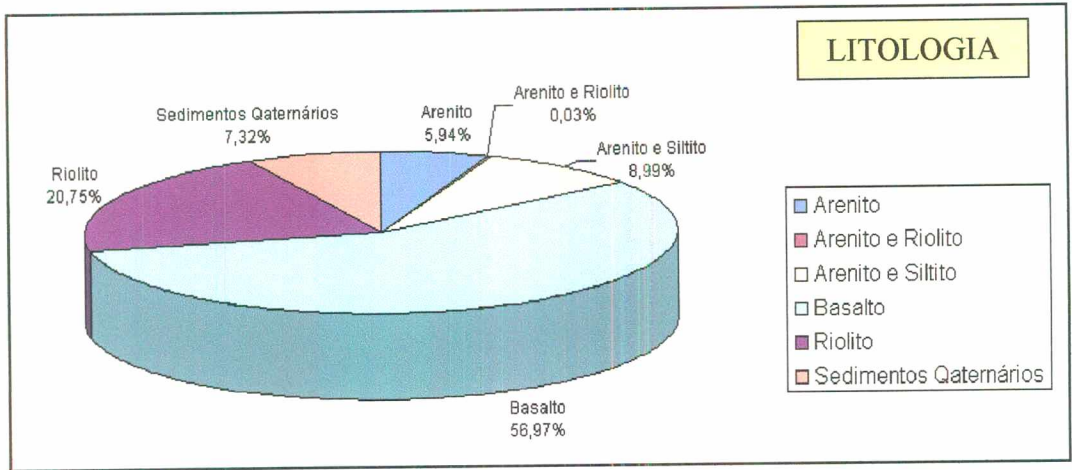


Figura 5.3.1.1. - Litologia do norte do estado do Rio Grande do Sul.

Traduzindo-se em área, o basalto cobre aproximadamente 92742km² do norte do estado do Rio Grande do Sul ocorrendo em 196 unidades geotécnicas.

Ocorrem, no Rio Grande do Sul, diversos tipos de solos com comportamento geotécnico diferenciado oriundos de basalto ou tendo basalto como substrato. Pode-se citar:

- basalto ocorrendo como afloramento ou situando-se próximo da superfície, como é observado freqüentemente na serra gaúcha ou próximo do limite com Santa Catarina;

- o basalto alterado ou o horizonte C próximo da superfície;
- perfis sobre basalto contendo horizonte superficial com mineral expansivo;
- horizontes superficiais pouco desenvolvidos e horizontes superficiais pedogeneticamente muito desenvolvidos e de grandes profundidades como ocorre na região dos Latossolos.

Outra litologia correspondente ao substrato das unidades geotécnicas é o arenito.

O arenito, se analisado de forma individual cobre apenas cerca de 5,94% do norte do estado do Rio Grande do Sul, porém se analisado associado a outros tipos de solos, corresponde a 14,96% de ocorrência, como mostra a tabela 5.3.1.1.

SUBSTRATO	PORCENTAGEM DE OCORRÊNCIA
Arenito	5,94%
Arenito e Riolito	0,03%
Arenito e Siltito	8,99%
Total	14,96%

Tabela 5.3.1.1. - Ocorrência do arenito.

A tabela 5.3.1.2 apresenta todos os substratos das unidades geotécnicas ou litologias encontradas na região em estudo, com suas respectivas áreas totais em quilômetros quadrados.

SUBSTRATO	ÁREA (km ²)
Arenito	9673,0877
Arenito e Riolito	53,5697
Arenito e Siltito	14632,7359
Basalto	92742,8674
Riolito	33786,8145
Sedimentos Quaternários	11911,4855

Tabela 5.3.1.2. - Áreas totais apresentadas pelas unidades litológicas.

UNIDADE PEDOLÓGICA	Porcentagem	Área em km ²
Areia Quartzosa	0,413878995	673,7973243
Areia Quartzosa Hidromórfica	0,14401121	234,4510576
Brunizem Avermelhado	1,976638144	3217,9779810
Brunizem Vértico	1,556998088	2534,8016180
Cambissolo	6,063198265	9870,9207730
Cambissolo Bruno	5,725130673	9320,5448370
Dunas	0,017976471	29,2657955
Glei	1,177124261	1916,3648970
Latossolo Bruno	0,077343993	125,9164547
Latossolo Bruno Câmbico	0,90631666	1475,4886050
Latossolo Bruno interm. P/ Latossolo Roxo	6,795889238	11063,7457800
Latossolo Roxo	13,58831489	22121,8528300
Latossolo Vermelho Escuro	9,065702294	14759,0141700
Litólico	18,05623544	29395,6525400
Planossolo	3,742108699	6092,1739450
Planossolo Solódico	0,192591436	313,5399376
Plintossolo	1,923880196	3132,0877470
Podzólico Bruno Acinzentado	1,089051291	1772,9816080
Podzólico Bruno Acinzentado Planossólico	2,117260713	3446,9123120
Podzólico Vermelho Amarelo	2,686403189	4373,4794550
Podzólico Vermelho Escuro	8,258682995	13445,1822200
Podzólico Vermelho Escuro Latossólico	0,057277024	93,2473162
Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Bruno Acinzentado	3,539945304	5763,0508040
Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Vermelho Escuro	1,854571485	3019,2527770
Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Terra Roxa Estruturada	0,971394765	1581,4361240
Terra Roxa Estruturada	7,900284477	12861,7074300
Vertissolo	0,101789803	165,7143701
TOTAL	100 %	162800,5607000

Tabela 5.3.2.1. - Áreas totais de unidades pedológicas existentes no norte do Estado do Rio Grande do Sul.

O mapa pedológico demonstra ainda que o planalto do estado apresenta uma maior ocorrência do Latossolo, pois a pedogênese, devido aos fatores de formação do solo, pôde atuar de forma mais intensa modificando o solo nesta região. A figura 5.3.2.2 mostra a localização dos Latossolos de acordo com o mapa.

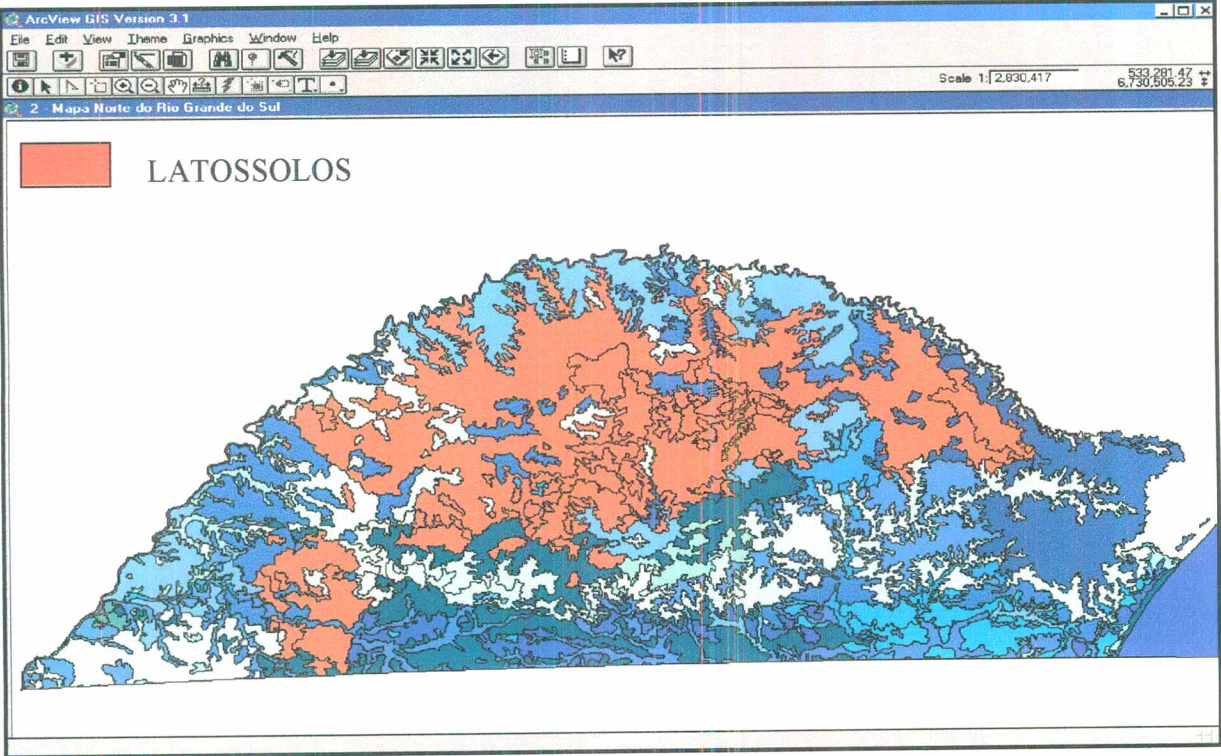


Figura 5.3.2.2. - Localização de todos os Latossolos do norte do estado do Rio Grande do Sul.

Do ponto de vista da pedologia, o norte do estado do Rio Grande do Sul, é considerado uma região de Latossolos, pois apresenta a ocorrência de aproximadamente 30% deste tipo de perfil de solo da área total da localidade em estudo como mostra o gráfico da figura 5.3.2.3.

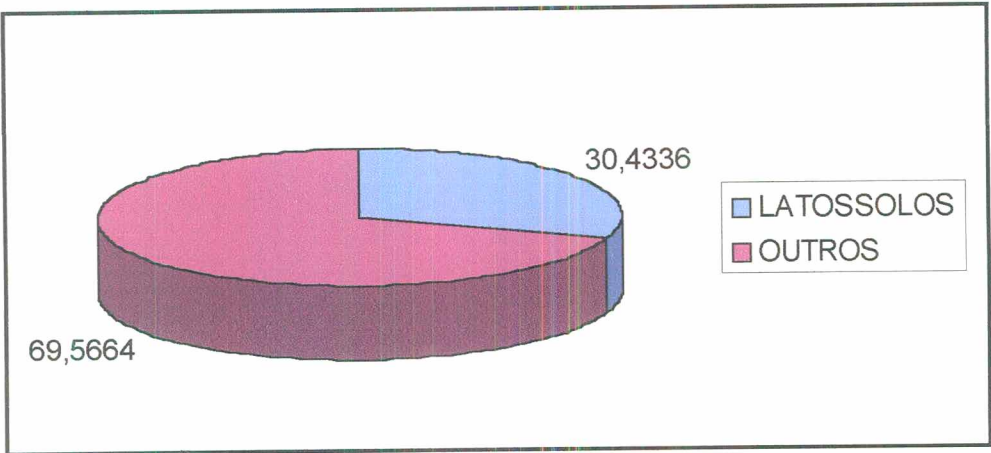


Figura 5.3.2.3. - Ocorrência de Latossolos no norte do estado do Rio Grande do Sul.

De acordo com o mapeamento do norte do estado do Rio Grande do Sul, foi possível perceber a existência de três tipos de Latossolos que ocorrem de maneira mais acentuada: Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Bruno Intermediário para Latossolo Roxo, seguido de menores ocorrências dos Latossolos Bruno e Latossolo Bruno Câmbico. A figura 5.3.2.4 demonstra esta relação.

Desta forma, os Latossolos de maior ocorrência, encontram-se divididos em três tipos:

- Latossolo Vermelho Escuro;
- Latossolo, Latossolo Roxo;
- Latossolo Bruno Intermediário para Roxo.

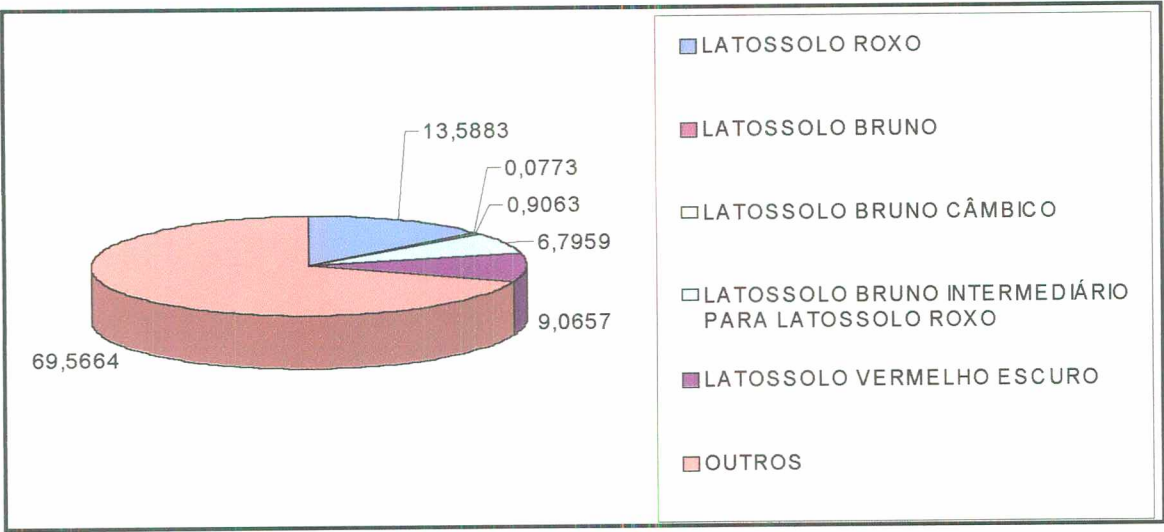


Figura 5.3.2.4. - Ocorrência de Latossolos no norte do estado do Rio Grande do Sul.

O Latossolo Roxo (LR) localizado ao norte do estado do Rio Grande do Sul é o mais encontrado nesta área. Este tipo de solo abrange aproximadamente 13,59% da área total analisada e 44,65% dos Latossolos, significando cerca de 22.122km². Sua localização abrange toda a área plana formando uma mancha compacta no centro da região como mostra a figura 5.3.2.5.

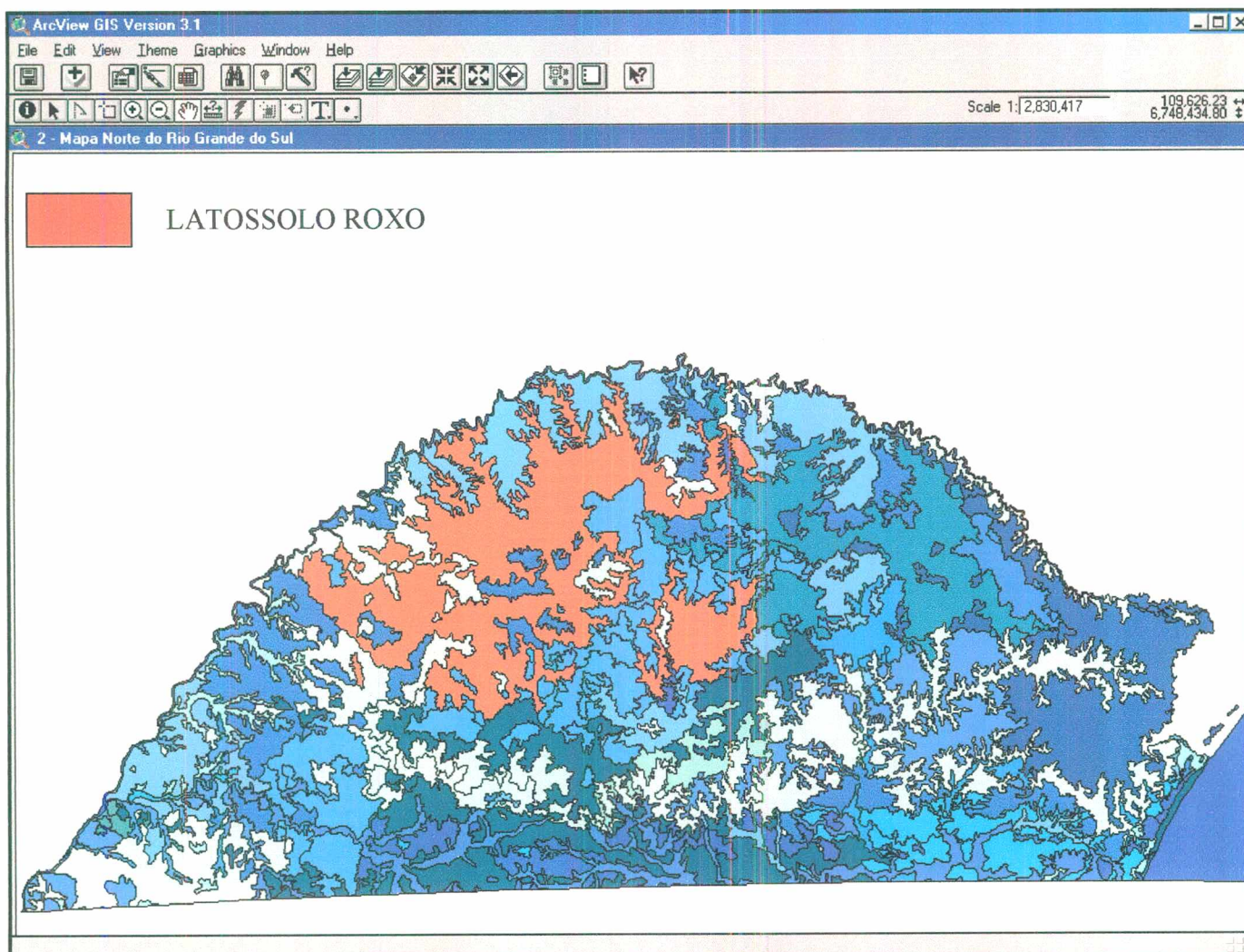


Figura 5.3.2.5. - Localização do Latossolo Roxo.

A figura 5.3.2.6 mostra o segundo grande grupo de Latossolos, representado pelo Latossolo Vermelho Escuro (LE). Este tipo de solo é encontrado no planalto central e pouco mais a oeste do norte do estado do Rio Grande do Sul. Percebe-se ainda uma grande ocorrência deste tipo de solo possuindo como substrato o arenito. Sua área total abrange cerca de 14.759km^2 , correspondente a 9,06% da área total do norte e 29,79% da área de ocupação total dos Latossolos.

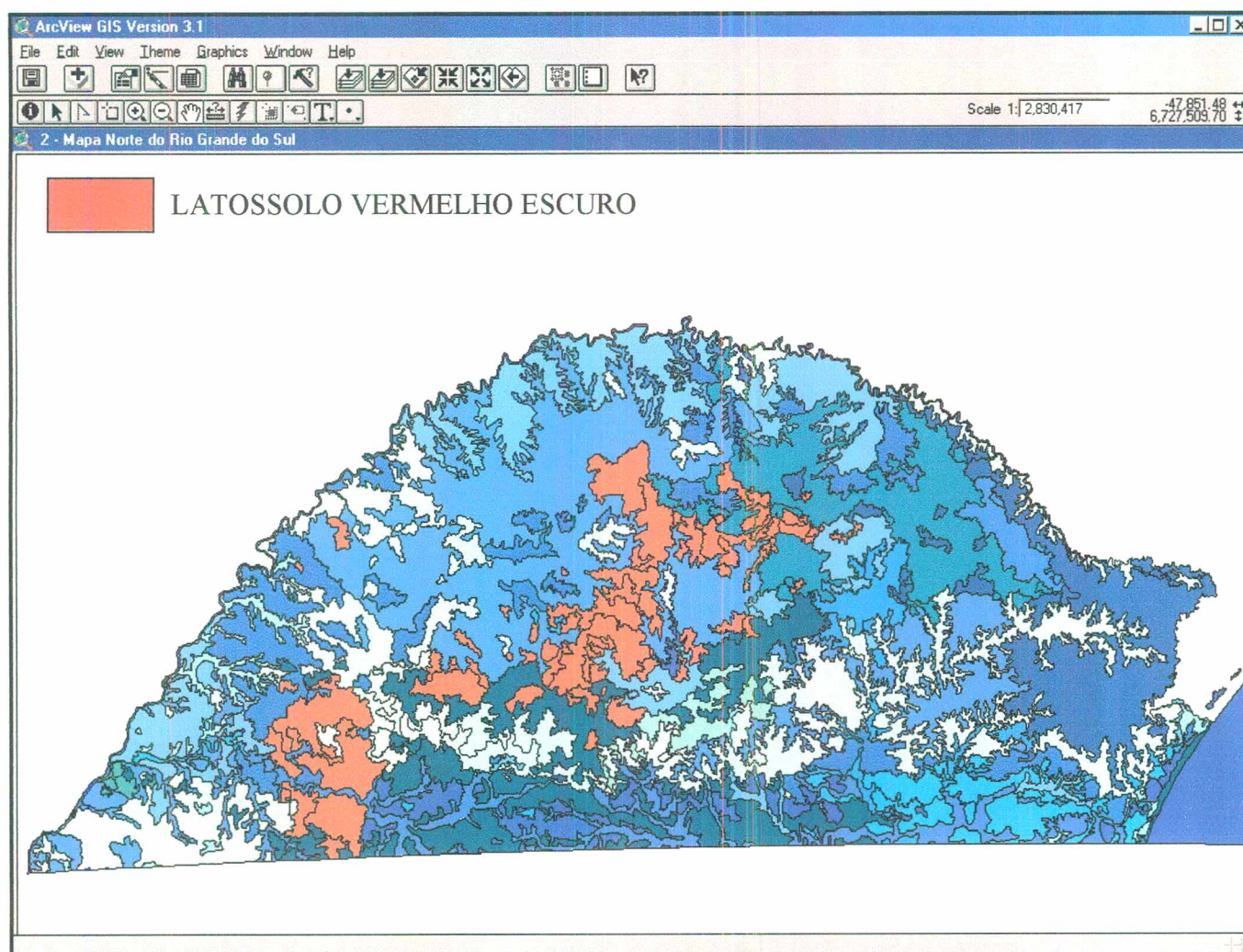


Figura 5.3.2.6. - Localização do Latossolo Vermelho Escuro.

O Latossolo Bruno Intermediário para Latossolo Roxo aparece como o terceiro grande grupo de Latossolos. Corresponde a 11.064km^2 da área total do norte do estado do Rio Grande do Sul, isto significa cerca de 6,8% da área total. Restringindo o universo desta unidade em apenas os Latossolos, representa cerca de 22,33% de todos os Latossolos compreendidos nesta região.

Sua ocorrência compreende uma pequena parcela da área estudada, percebe-se ainda, uma grande ocorrência deste tipo de solo tendo o basalto como substrato como mostra a figura 5.3.2.7.

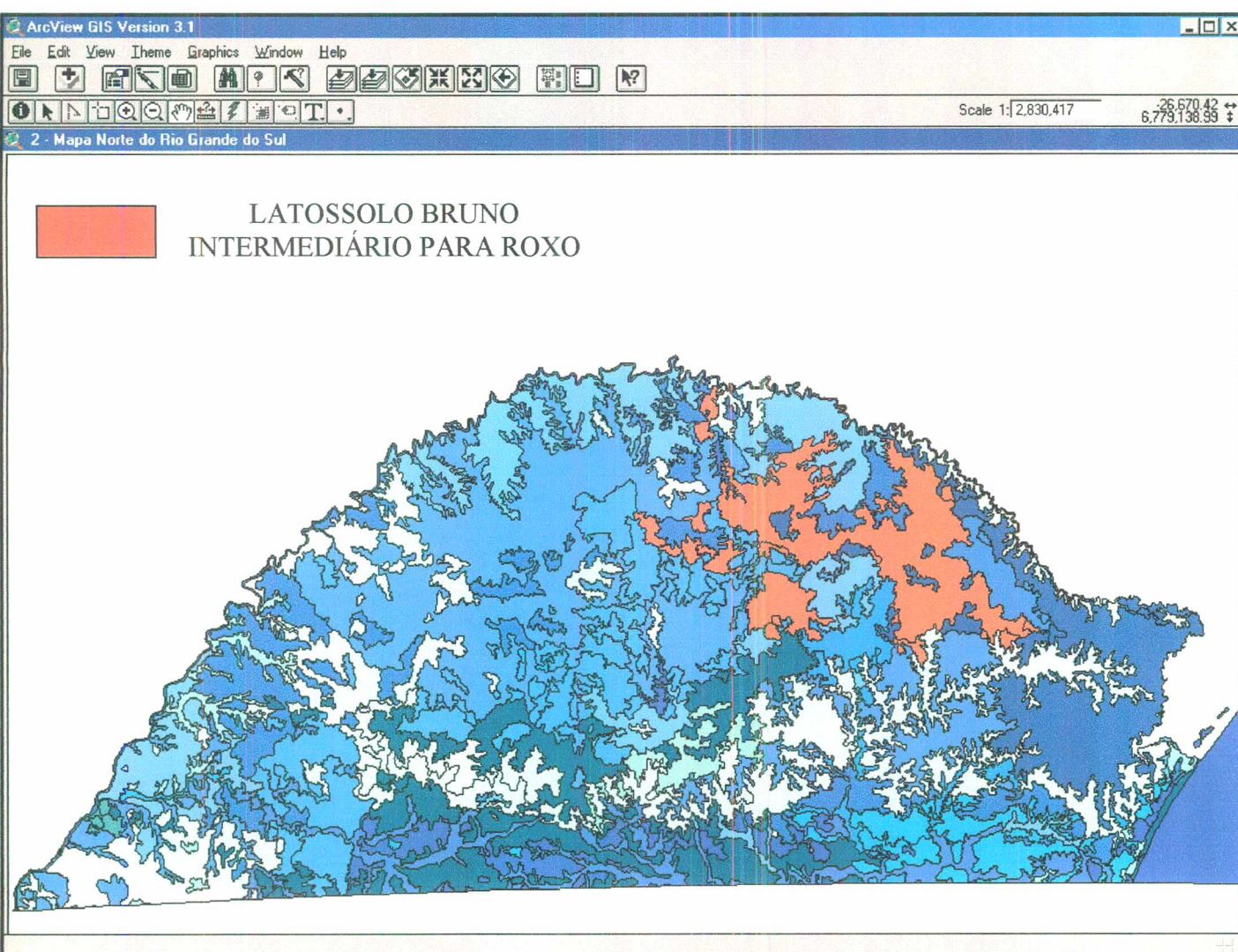


Figura 5.3.2.7. - Localização do Latossolo Bruno Intermediário para Roxo.

Realizando a classificação dos Latossolos presentes no mapa, tendo a geologia como substrato, é possível detectar cinco grupos de substratos que ocorrem no norte do estado do Rio Grande do Sul com mais frequência:

- basalto;
- arenito;
- arenito - siltito;
- riolito;
- arenito – riolito.

A unidade geológica arenito-riolito, presente nesta região, apresenta uma porcentagem total de ocorrência de 0,03% de toda a região. Indiferente à esta proporção, quando utiliza-se este substrato associado aos Latossolos, este apresenta-se em apenas 53,57km² da área total dos Latossolos, correspondente a 0,11%. Este valor é muito pequeno considerando a área total mapeada podendo até ser considerado erro das equipes que mapearam a região. A figura 5.3.2.8 mostra a localização, da única unidade mapeada, do Latossolo tendo como substrato o arenito – riolito.

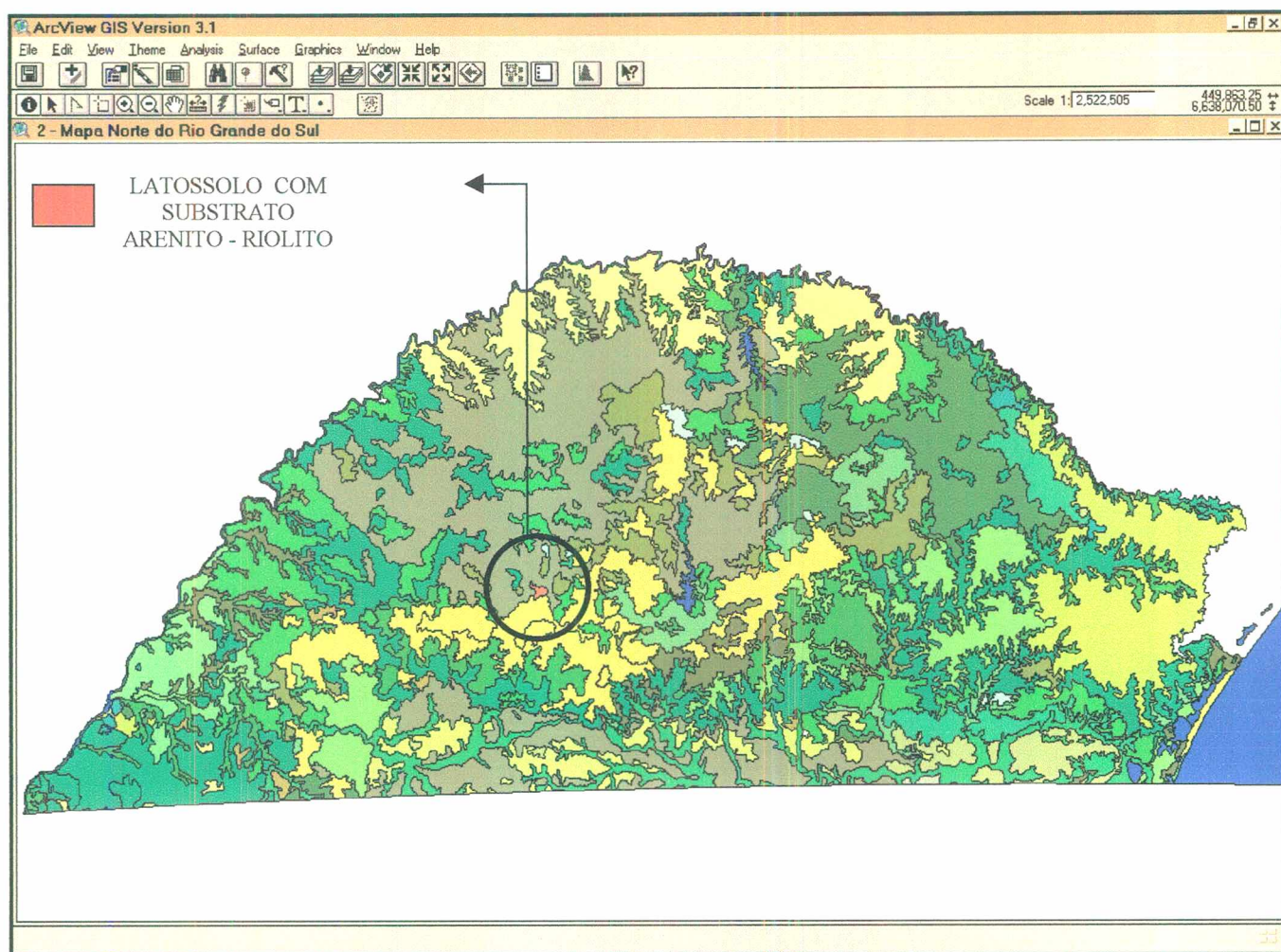


Figura 5.3.2.8. - Latossolos de Substrato Arenito – Riolito.

Em seguida, verificam-se todos os Latossolos desta região que contenham o riolito como substrato.

O mapeamento demonstrou, também, uma pequena ocorrência desta unidade, presente em pequenos pontos espalhados pelo centro da região estudada e alguns outros pontos adjacentes. A área total deste substrato corresponde a 20,75% da área total

estudada e 3,60% se considerarmos apenas a ocorrência deste substrato na região dos Latossolos, correspondendo a apenas 1.784,23km². Nota-se que a ocorrência deste solo está pouco mais presente que o substrato arenito – riolito, anteriormente mencionado podendo ser também considerada como erro de mapeamento. A figura 5.3.2.9 mostra a localização exata da ocorrência dos Latossolos que possuem o riolito como substrato.

Não é comum rochas ácidas, no caso o riolito, desenvolverem, em termos de pedologia, seus horizontes, ou seja, resultar em Latossolos. A razão disto se dá, provavelmente, por sua composição mineral apresentar, na maioria das vezes, minerais resistentes ao intemperismo e pela estrutura de seus derrames. Porém, ocorrem em certas localidades Latossolos com substrato riolito. Isso acontece, provavelmente, em decorrência das características do relevo local que se apresenta em forma de planalto facilitando a penetração da água.

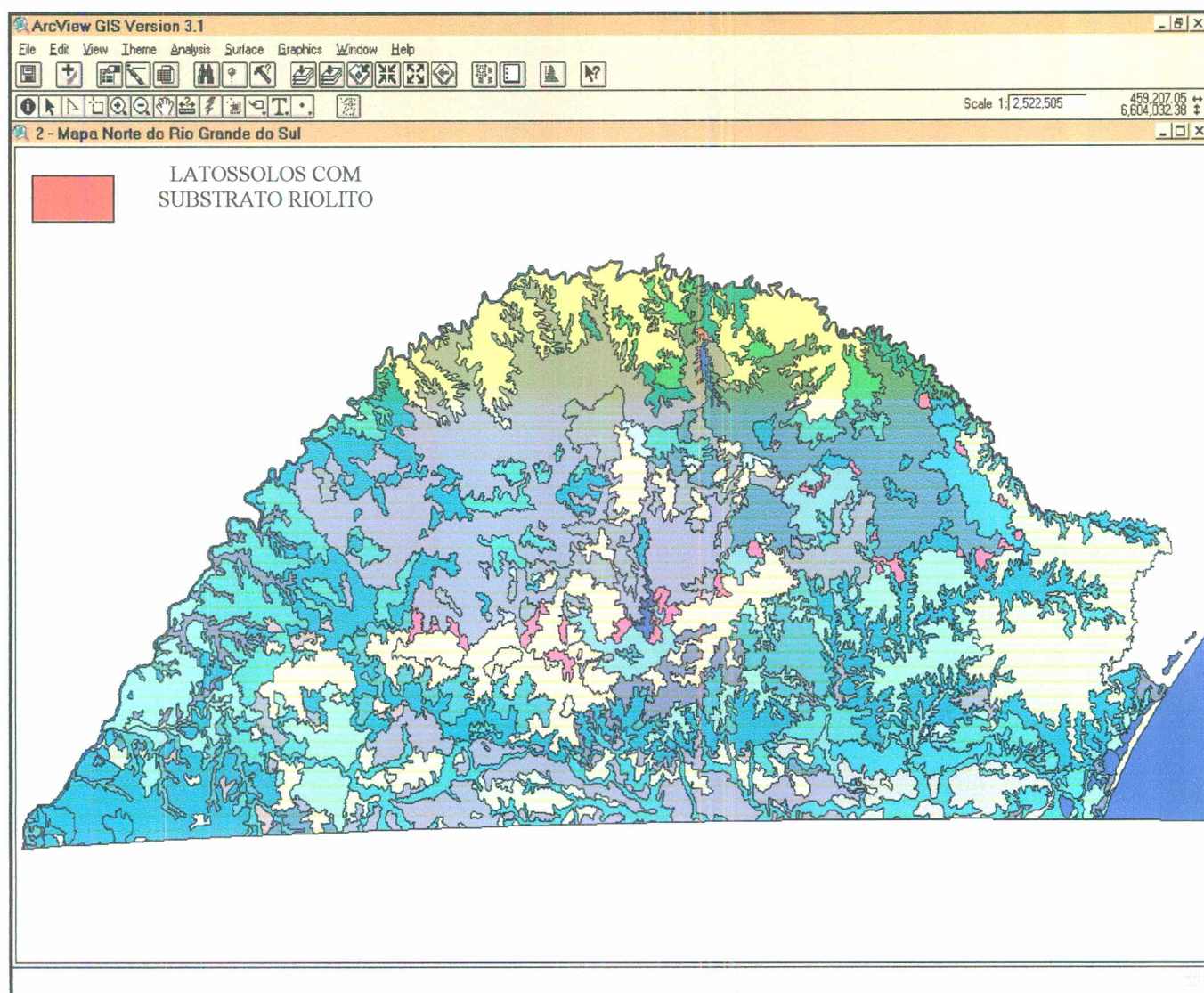


Figura 5.3.2.9. - Latossolos de Substrato Riolito.

O mapa da figura seguinte 5.3.2.10 apresenta todos os Latossolos que possuem o arenito – siltito como substrato. Estas unidades possuem uma área maior que as demais apresentadas e se caracteriza por concentrar-se em apenas uma unidade a leste do mapa.

Possui uma área total de aproximadamente 14.633km² correspondente a 8,99% da área total da região estudada e 4,23% se considerarmos apenas a ocorrência deste substrato na região dos Latossolos.

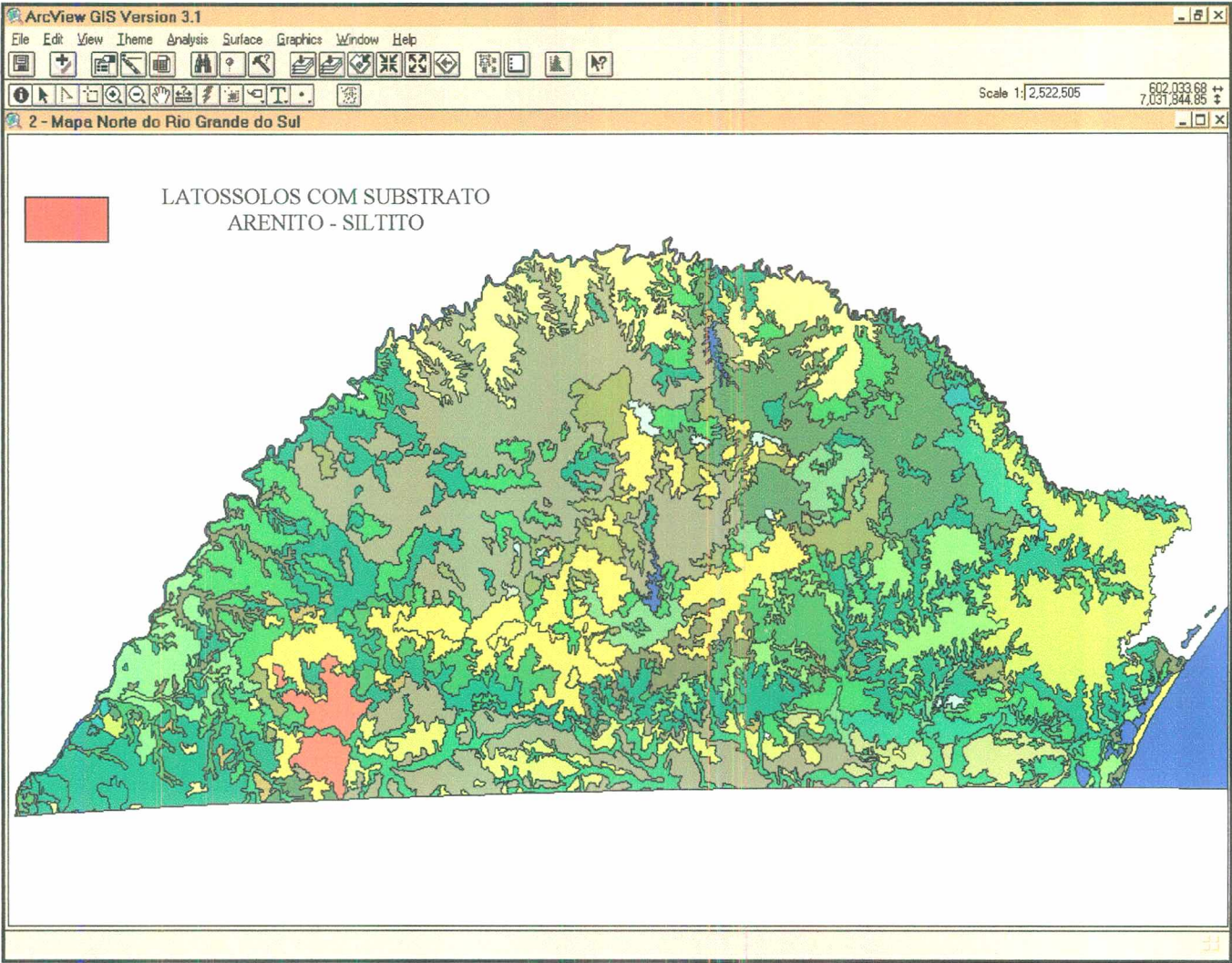


Figura 5.3.2.10. - Latossolos de Substrato Arenito – siltito.

O mapa seguinte 5.3.2.11 demonstra uma área de Latossolos caracterizada por possuir uma influência pouco maior que as demais áreas.

Tendo como substrato o arenito, proveniente da Formação Tupanciretã, as áreas destes Latossolos são bem maiores que as demais, iniciando-se a oeste da região e findando ao centro. Isto ocorre, pois apesar do arenito possuir sua composição mineralógica resistente ao intemperismo, o relevo mais suave ondulado em que os arenitos se encontram, provavelmente retém a água acelerando o processo do intemperismo. A contribuição também pode interferir no processo.

Estas unidades de Latossolos tendo como substrato o arenito, apresentam cerca de 7.100km² de área total estudada, correspondente a 5,94%, e 14,33% se considerarmos apenas a ocorrência deste substrato na área dos Latossolos e 5,94% da região.

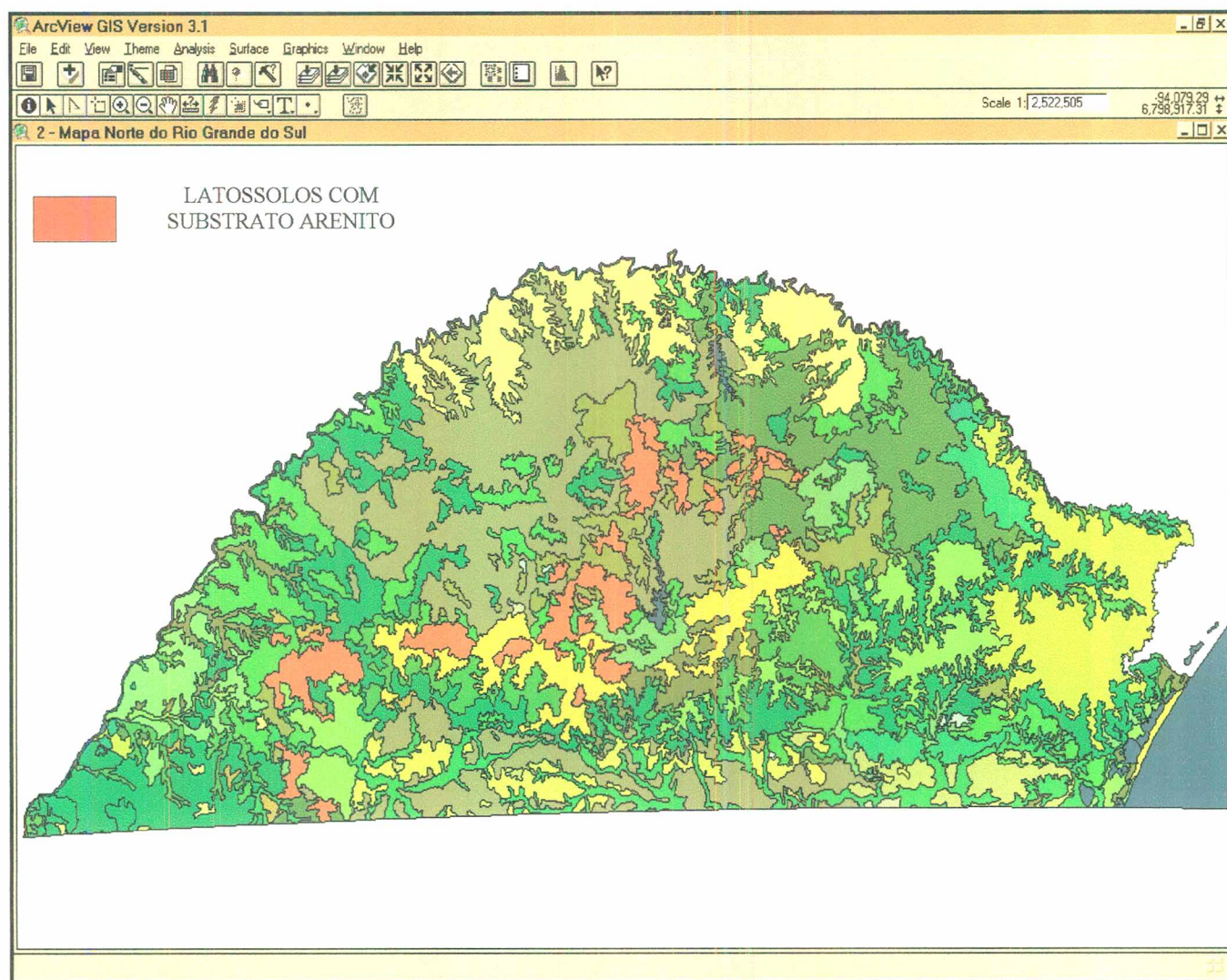


Figura 5.3.2.11. - Latossolos de Substrato Arenito.

Por fim, é apresentado o mapa que possui os Latossolos com substrato basalto do norte do estado do Rio Grande do Sul.

Esta unidade se caracteriza por apresenta uma área extremamente maior do que as demais áreas mapeadas. Os Latossolos com substrato basalto possuem uma área total de 38.511,46km² correspondente a 77,73% da área dos Latossolos. Se considerarmos a área total do norte do estado, este substrato corresponde a 23,65% da área total da região estudada.

A figura 5.3.2.12 demonstra a localização destas unidades que se apresentam na porção norte da região, caracterizando-se por possuir unidades compactas, diferentes das demais unidades que se mostram espalhadas.

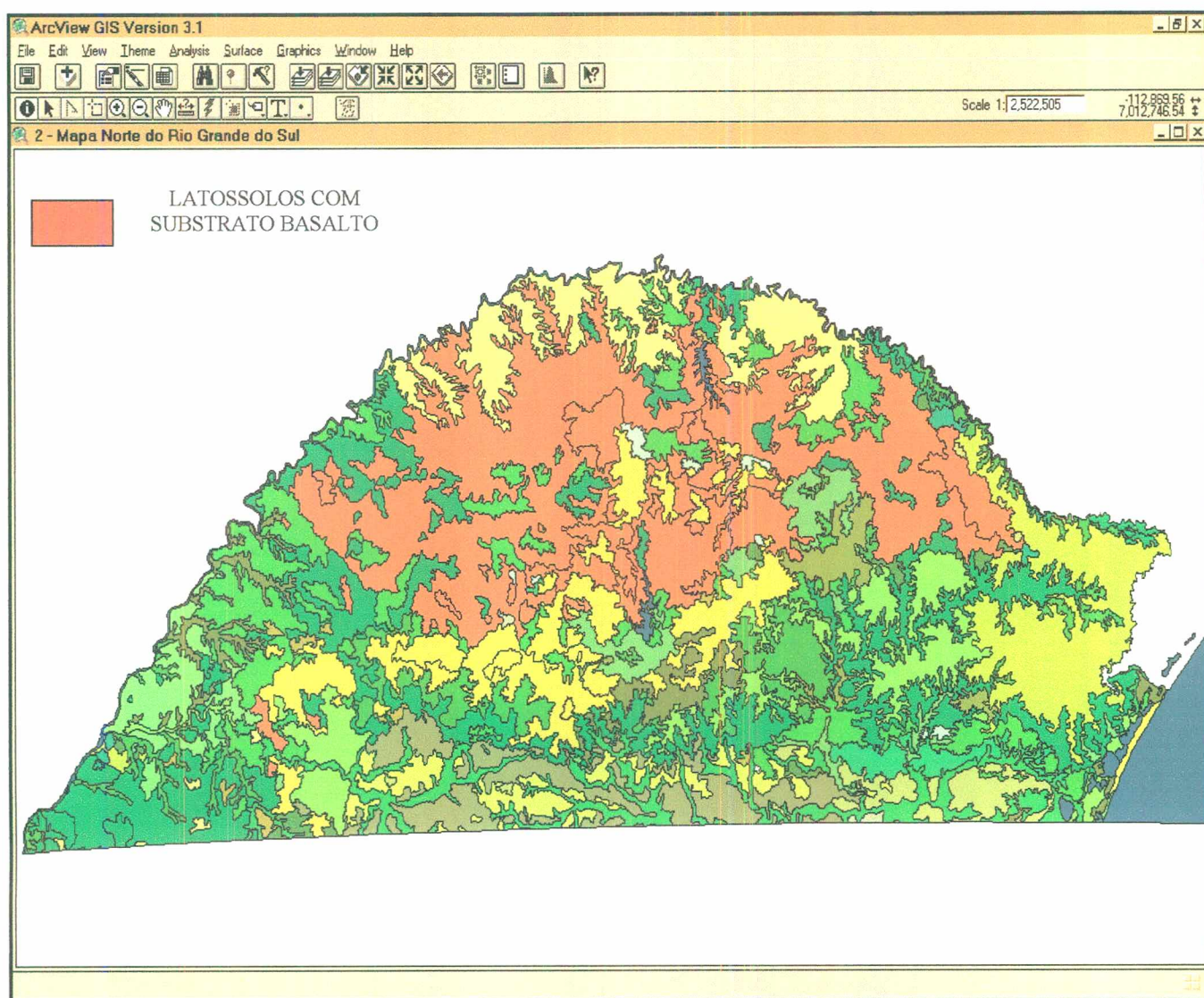


Figura 5.3.2.12. - Latossolos de Substrato Basalto.

O basalto, caracteriza-se por ser a principal litologia da região, porém este não é o motivo principal de ser o substrato mais encontrado nos Latossolos.

Isto ocorre, não apenas em função do relevo relativamente plano, mas em razão do basalto apresentar minerais mais facilmente intemperizáveis que os demais tipos de litogias encontrados na região como as zonas vesiculares do basalto. Apresenta porém, uma pequena quantidade de quartzo em algumas camadas proveniente do arenito “*intertrapp*”, que caracteriza-se por ser resistente ao intemperismo.

5.3.3. Solos Hidromórficos

Os solos hidromórficos ocorrem em cotas mais baixas dos demais tipos de solos. No norte do estado do Rio Grande do Sul, este tipo de solo encontra-se, em sua maioria, próximo à latitude de 30°. Estes solos podem ser classificados como Areias Quartzosas Hidromórficas, Gleis, Planossolos, Planossolos Solódicos e Vertissolos. Caracterizam-se por apresentar em seu horizonte B o nível do lençol freático. São solos problemáticos, sob o ponto de vista da engenharia, apresentando baixa capacidade de suporte para fundações, expansibilidade, compressibilidade, etc.

A figura 5.3.3.1 demonstra, em azul, a localização dos solos hidromórficos do norte do estado.

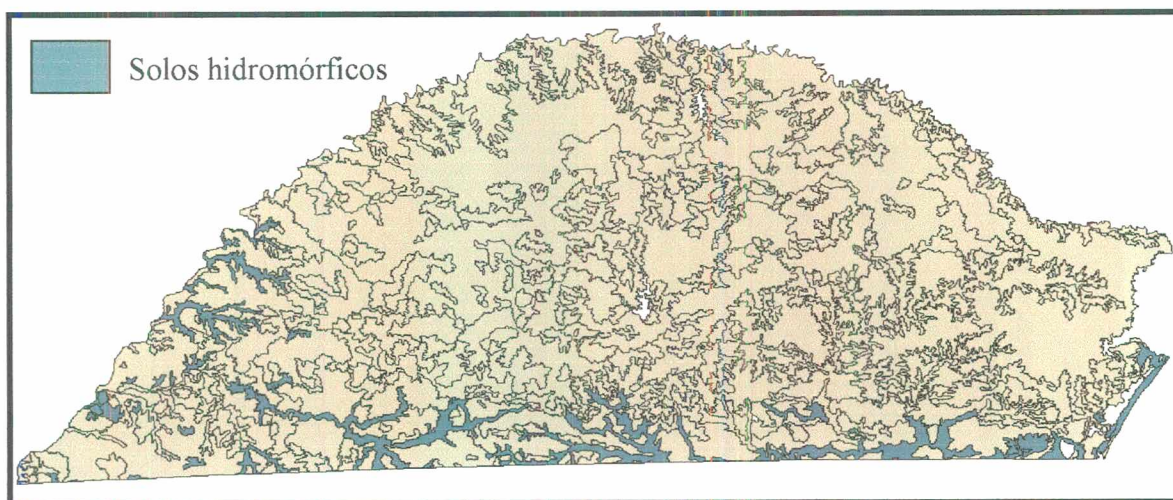


Figura. 5.3.3.1. – Solos Hidromórficos do norte do estado do Rio Grande do Sul

Na descrição, dos solos hidromórficos da localidade em estudo, não estão incluídos os Plintossolos. Os mesmos não são considerados hidromórficos porque a

oscilação do nível d’água é sazonal, ou seja, varia em função das estações secas ou chuvosas.

Apesar da área em estudo se caracterizar por ser uma região de Latossolos, os solos hidromórficos apresentam ocorrência considerável. A ferramenta do Sistema de Informação Geográfica mostra uma área de aproximadamente 8.722Km² referente a 5,35% de toda a região em estudo.

A tabela 5.3.3.1 mostra a relação de áreas dos solos hidromórficos do norte do estado do Rio Grande do Sul.

Solos Hidromórficos	Unidades de ocorrência	Área em Km ²	Porcentagem do total
Areia Quartzosa Hidromórfica	1	234,4510	0,14
Glei	16	1916,3648	1,18
Planossolo	15	6092,1739	3,74
Planossolo Solódico	5	313,5399	0,19
Vertissolo	4	165,7143	0,10
TOTAL	41	8722,2440	5,35 %

Tabela 5.3.3.1. – Porcentagem total dos solos Hidromórficos do norte do estado do Rio Grande do Sul e suas respectivas áreas

5.3.4. Pedologia Provinda da Litologia de Basalto

Estimando, através da geologia, a litologia predominante da região em estudo, foi possível determinar que a região é composta basicamente de basalto como mostra a figura 5.3.4.1. Através do SIG, associou-se os tipos de solos que podem ser desenvolvidos a partir desta litologia. Este cruzamento de informações apontou o Latossolo Roxo e o Litólico como os tipos de solos mais encontrados desenvolvidos sobre a litologia de basalto. A tabela 5.3.4.1 demonstra a relação dos solos e suas respectivas áreas, bem como o número de ocorrência destas unidades sobre esta litologia.

Vários tipos de solos foram encontrados a partir das litologias estudadas, demonstrando assim, que a geologia não deve ser o único parâmetro a ser considerado como estimativa de comportamento do solo.

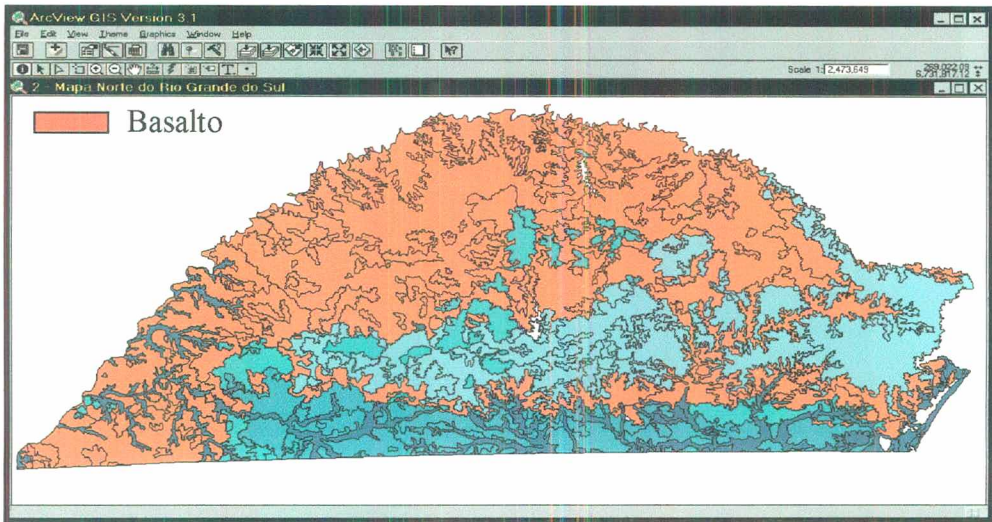


Figura. 5.3.4.1. – Localização das unidades pedológicas providas da litologia basalto

Unidades Pedológicas Providas do Substrato Basalto	Unidades de Ocorrências	Área em Km²	Porcentagem
Brunizém Avermelhado	4	1984,9740	2,14
Brunizém Vértico	10	1243,3625	1,34
Cambissolo	8	8997,5181	9,70
Cambissolo Bruno	3	315,1459	0,34
Latossolo Bruno	2	125,9164	0,14
Latossolo Bruno Câmbico	1	1383,0300	1,49
Latossolo Bruno interm. p/ Latossolo Roxo	7	10154,1409	10,95
Latossolo Roxo	6	22082,3564	23,81
Latossolo Vermelho Escuro	26	4766,0172	5,14
Litólico	37	22968,0169	24,77
Planossolo	1	43,9298	0,05
Planossolo Solódico	2	193,9789	0,21
Plintossolo	8	3132,0877	3,38
Podzólico Vermelho Amarelo	3	149,6803	0,16
Podzólico Vermelho Escuro	10	617,1134	0,67
Terra Bruna Estr. Interm. p/ Podzólico Vermelho Escuro	3	157,6777	0,17
Terra Bruna Estr. Interm. p/ Terra Roxa Estruturada	8	1400,4988	1,51
Terra Roxa Estruturada	52	12861,7074	13,87
Vertissolo	4	165,7143	0,18
Total	195	92742,8674	100 %

Tabela. 5.3.4.1. – Porcentagem em relação ao total das unidades de basalto e área das unidades pedológicas providas deste substrato do norte do estado do Rio Grande do Sul

5.3.5. Pedologia Provinda da Litologia de Arenito

Assim como a litologia de basalto, é importante determinar os tipos de solos provindos da litologia arenito. O arenito no norte do estado do Rio Grande do Sul pode ser encontrado em forma de arenito apenas ou associado a outras rochas encontradas nesta área de estudo, representadas pelo arenito ou apresentando associações de arenito-siltito e arenito-riolito. A tabela 5.3.5.1 demonstra as porcentagens e as áreas de ocorrência dos solos provindos do arenito e a tabela 5.3.5.2 demonstra os solos desenvolvidos tendo como substrato o arenito e arenito e litologias associadas.

Unidades pedológicas desenvolvida sobre substrato arenito	Área em Km ²	Porcentagem
Cambissolo	82424942,80	0,85
Latossolo Bruno interm. p/ Latossolo Roxo	400993512,88	4,15
Latossolo Vermelho Escuro	6699584962,39	69,26
Litólico	116938661,30	1,21
Planossolo	61309273,71	0,63
Planossolo Solódico	119561005,84	1,24
Podzólico Vermelho Amarelo	1732890634,12	17,91
Podzólico Vermelho Escuro	401256668,78	4,15
Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Vermelho Escuro	58128026,62	0,60
Total	9673087688,45	100 %

Tabela. 5.3.5.1. – Porcentagem em relação ao total das unidades de arenito e área das unidades pedológicas provindas deste substrato do norte do estado do Rio Grande do Sul

Unidades pedológicas provindas da associação do substrato arenito e outras litologias	Área em Km ²	Porcentagem
Latossolo Vermelho Escuro	2149745084,62	14,64
Podzólico Bruno Acinzentado Planossólico	3446912312,40	23,47
Podzólico Vermelho Amarelo	2378075486,43	16,19
Podzólico Vermelho Escuro	6711572684,18	45,70
Total	14686305567,64	100 %

Tabela. 5.3.5.2. – Porcentagem total das unidades de arenito e outros substratos associados do norte do estado do Rio Grande do Sul

A figura 5.3.5.1 demonstra a ocorrência dos solos provindos do substrato arenito e arenito associado ao riolito e siltito do norte do estado do Rio Grande do Sul. Estes solos são encontrados próximos à latitude de 30° e ao centro da região em estudo.

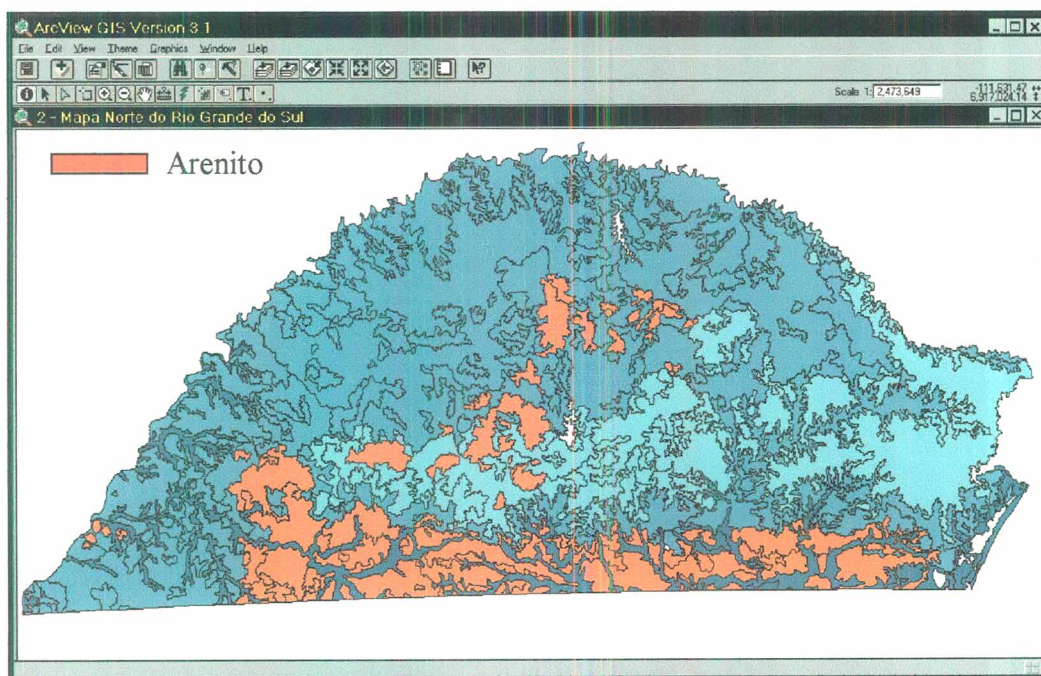


Figura. 5.3.5.1. – Localização das unidades pedológicas provindas da associação do substrato arenito e outras litologias

Desta forma, o norte do estado do Rio Grande do Sul possui uma grande variedade de tipos de solos proveniente de seis tipos de litologias como substrato. Isto se deve a vários fatores de formação do solo.

Através do Sistema de Informações Geográficas foi possível verificar, não apenas a quantidade de tipos de solos, mas a localização dos mesmos.

6. ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS E PROPRIEDADES GEOTÉCNICAS DOS LATOSSOLOS DAS UNIDADES GEOTÉCNICAS INVESTIGADAS

6.1 Considerações

O mapa geotécnico gerado nesta dissertação mostra que no norte do estado do Rio Grande do Sul predominam os Latossolos, desta forma, a grande maioria dos resultados dos ensaios coletados foi para este tipo de solo. Os Latossolos, como descrito no capítulo 2.4, apresentam características diferenciadas dos demais tipos de solos tradicionalmente abordados na mecânica dos solos.

Tentou-se compreender um pouco mais o comportamento diferenciado destes tipos de solos utilizando-se os recursos que o banco de dados geotécnico, que foi inserido no Sistema de Informações Geográficas, pode proporcionar, como acesso rápido entre gráficos e tratamentos estatísticos entre os valores das tabelas. Os ensaios coletados para a composição do banco de dados são descritos a seguir:

- caracterização;
- resistência ao cisalhamento;
- SPT;
- compactação;
- compressibilidade;
- colapsividade.

6.2 Ensaios de caracterização

Vários municípios foram pesquisados e coletadas as amostras para os ensaios de caracterização (Davison Dias et al., 1996).

A tabela 6.2.1 apresenta alguns resultados dos ensaios de sedimentação. Este ensaio foi realizado de duas maneiras, com e sem defloculante. A utilização, ou não, desse composto químico, permite prever o comportamento de solos que trabalham em grumos fracamente ligados. A utilização do defloculante dissolve estes grumos e assim pode-se perceber a diferenciação do comportamento dos solos. Este é o caso dos Latossolos da região estudada.

SEM DEFLOCULANTE							
Localidade	Clas. Geot.	Pedregulho	Ar. Grossa	Ar. Media	Ar. Fina	Silte	Argila
São Francisco de Assis	LEa	0	0	7	77	16	0
São Canuto I	LEa	0	0	3	40	57	0
São Canuto II	LEa	0	0	2	49	35	14
Manuel Viana	LEa	0	0	5	52	40	3
Santa Bárbara I	LEb	0	0	8	41	48	3
Santa Bárbara II	LEa	0	0	7	74	19	0
Cruz Alta I	LEa	0	0	6	71	23	0
Cruz Alta II	LEa	0	0	5	65	25	5
Cruz Alta III	LEa	0	0	3	23	67	7
Palmeira das Missões	LEb	0	0	4	46	44	6
COM DEFLOCULANTE							
São Francisco de Assis	LEa	0	0	5	77	11	7
São Canuto I	LEa	0	0	3	44	23	30
São Canuto II	LEa	0	0	1	62	12	25
Manuel Viana	LEa	0	0	4	53	7	36
Santa Bárbara I	LEb	0	0	9	46	11	34
Santa Bárbara II	LEa	0	0	13	71	9	7
Cruz Alta I	LEa	0	0	5	43	20	32
Cruz Alta II	LEa	0	0	5	42	17	36
Cruz Alta III	LEa	0	0	3	32	18	47
Palmeira das Missões	LEb	0	0	4	24	21	51

Tabela 6.2.1. – Comparação entre os ensaios de caracterização com e sem defloculante de unidades de Latossolos da localidade.

Deve-se atentar para o fato de que a escala trabalhada (1:1.000.000) não é suficiente para determinar a divisão exata entre unidades geotécnicas. Alguns ensaios de granulometria realizados na intercessão entre as unidades mostram a variação dos resultados, principalmente da fração granulométrica areia fina. Esta diferença devido à

provável contaminação que o basalto sofre pelo arenito é de grande importância para que sejam feitos ajustes nas unidades.

Tomando-se como exemplo a unidade de Santa Bárbara I e II, foram coletadas amostras que foram retiradas de uma unidade pedológica Latossolo Vermelho Escuro. A figura 6.2.1 mostra que é possível perceber a variação da fração de areia fina com a proximidade do final da unidade.

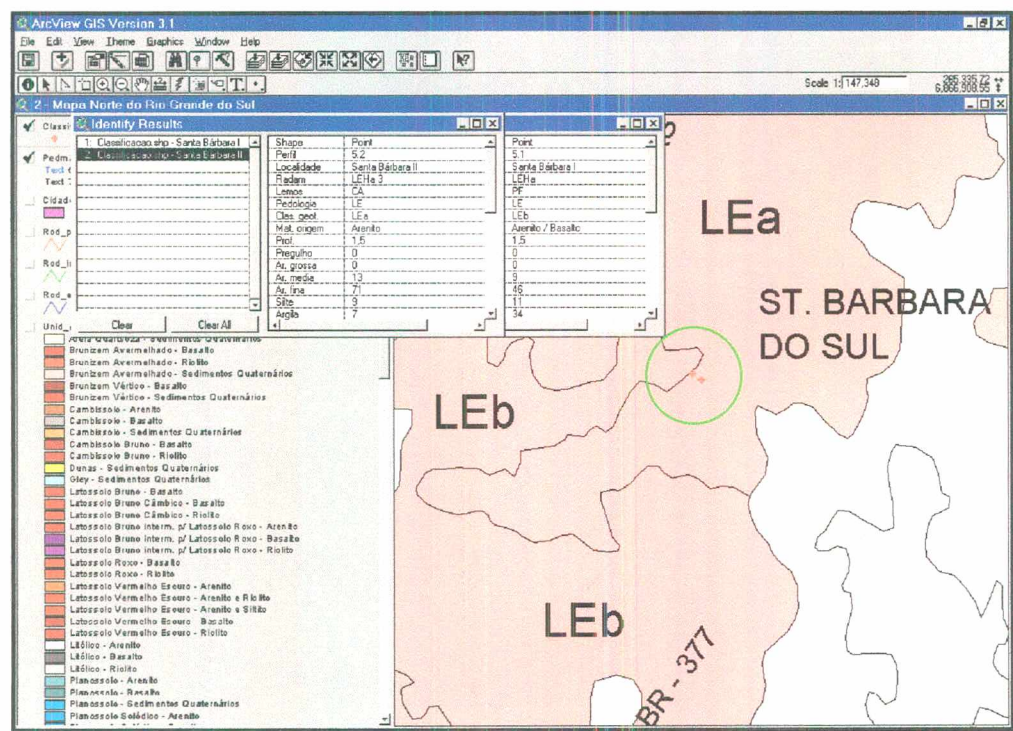


Figura 6.2.1. –Variação da areia fina na Localidade de Santa Bárbara – Latossolo Vermelho Escuro substrato arenito

6.2.1 Índices físicos

Os resultados dos índices físicos coletados estão apresentados na tabela seguinte e se dividem em:

- peso específico aparente, natural, saturado e seco;
- peso específico real dos grãos;
- índice de vazios;
- porosidade;
- grau de saturação

Os índices físicos foram coletados com o objetivo de complementar o entendimento e a análise do comportamento do solo através de outros ensaios de laboratório.

Os horizontes superficiais A e B são parcialmente saturados. O grau de saturação dos solos estudados variaram de 22 a 92%.

O horizonte B é parcialmente saturado, sendo que os valores coletados o grau de saturação resultou valores entre 25 e 84%.

6.3 Resistência ao cisalhamento

Pelo motivo dos solos lateríticos serem parcialmente saturados e bem drenados, foram realizados ensaios de cisalhamento direto para a obtenção de parâmetros de resistência.

Todas as curvas tensão cisalhante x deformação, deformação vertical x deformação horizontal e tensão máxima cisalhante x tensão aplicada, assim como os resultados do banco de dados referente aos valores de coesão (c) e ângulo de atrito (ϕ), do ensaio de cisalhamento direto fazem parte do banco de dados do software mencionado.

Através do banco de dados desenvolvido e dos gráficos referentes aos ensaios de cisalhamento direto, é possível perceber que a envoltória das tensões de ruptura de quase todas as amostras sofre uma queda com a inundação dos corpos de prova. A figura 6.3.1 exemplifica a seguir gráficos das localidades, Palmeira das Missões e Carazinho, onde ocorreu uma queda de resistência ao cisalhamento com a inundação dos corpos de prova.

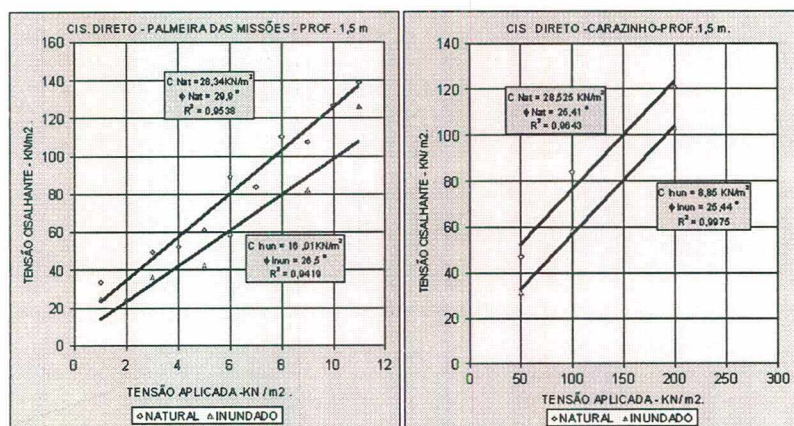


Figura 6.3.1. - Queda da envoltória de ruptura com a inundação das localidades Palmeira das Missões e Carazinho através do Arc View

Esta queda na envoltória pode ser mais evidenciada quando relacionamos todas as coesões e ângulos de atrito, naturais e inundadas, de alguns Latossolos. Utilizou-se o Latossolo Roxo e o Latossolo Vermelho Escuro em razão de sua maior ocorrência na localidade em estudo. Desta forma, são os que possuem mais resultados de resistência ao cisalhamento definida pelo ensaio de cisalhamento direto no banco de dados. Os gráficos da figura 6.3.2 e 6.3.3 mostram a queda de resistência ao cisalhamento com o inundamento da amostra.

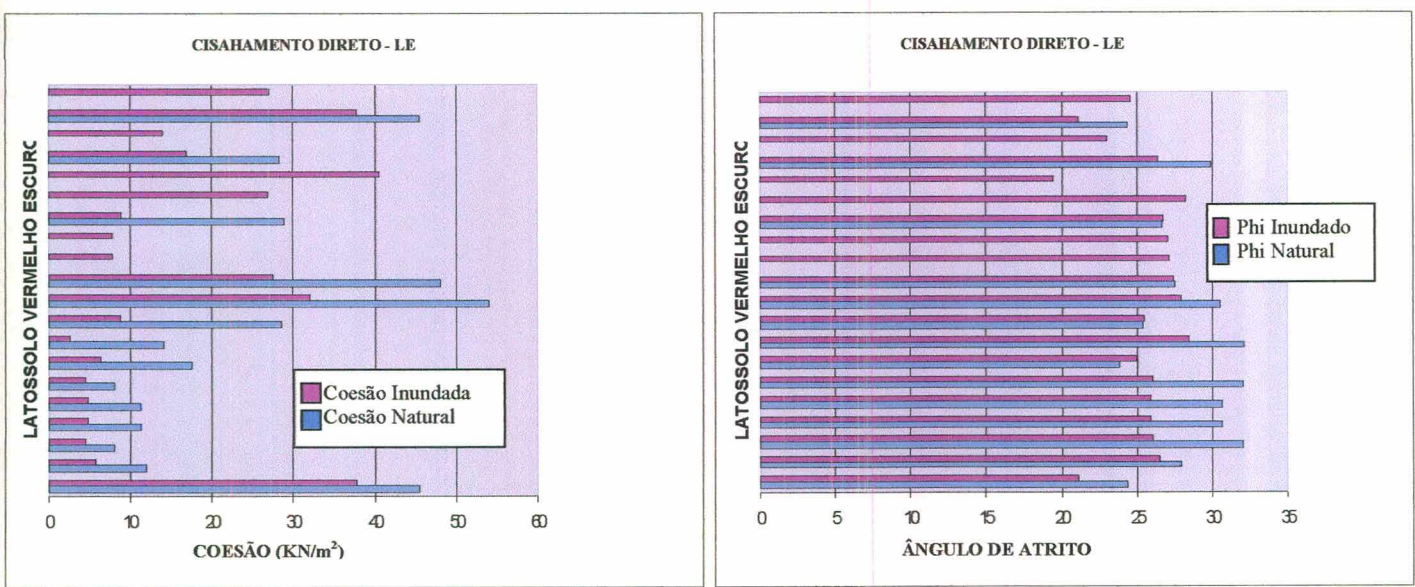


Figura 6.3.2. – Coesão e ângulo de atrito dos Latossolos Vermelhos Escuros do norte do estado do Rio Grande do Sul.

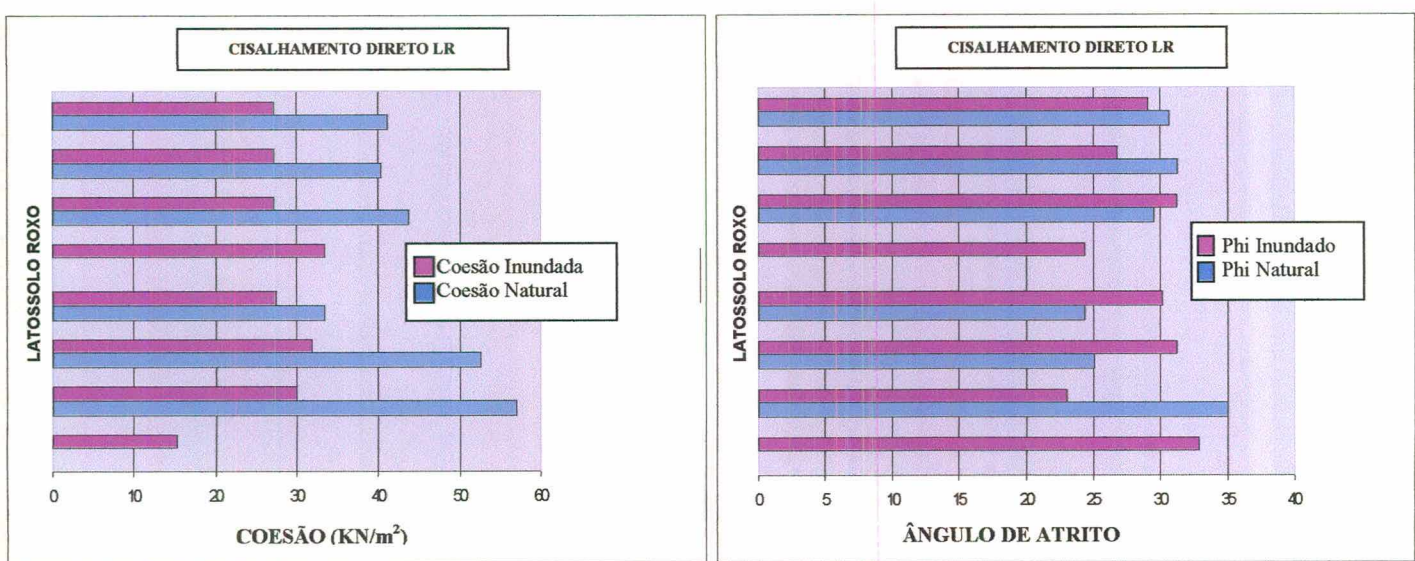


Figura 6.3.3. – Coesão e ângulo de atrito dos Latossolos Roxos do norte do estado do Rio Grande do Sul.

6.4 Ensaios de Sondagem à Percussão - SPT

Foram inseridos, no banco de dados geotécnicos, resultados de ensaios SPT de diversas localidades coletados em empresas de sondagem e inseridos em universos geotécnicos pertencentes a eles. Desta forma, os resultados do ensaio SPT não podem ser considerados apenas como pontuais.

A análise dos resultados do ensaio SPT (*Standard Penetration Test*) realizados na região estudada, mostra que os valores do número de golpes na camada laterítica é, na maioria das vezes, inferior a 8 golpes para penetração de 30 centímetros finais do amostrador padrão.

Analisando-se perfis de sondagens de solos lateríticos, verifica-se que na camada laterítica, não há grandes variações dos valores do número de golpes obtidos no SPT. Entretanto têm-se observado valores menores em baixas profundidades, como mostra a figura 6.4.1.

Na caracterização das amostras coletadas pelo amostrador padrão do SPT, as cores e os mosqueados têm importância muito grande para a caracterização do solo. Estas podem indicar o comportamento da drenagem do solo, presença de minerais expansivos, variabilidade do horizonte, entre outras.

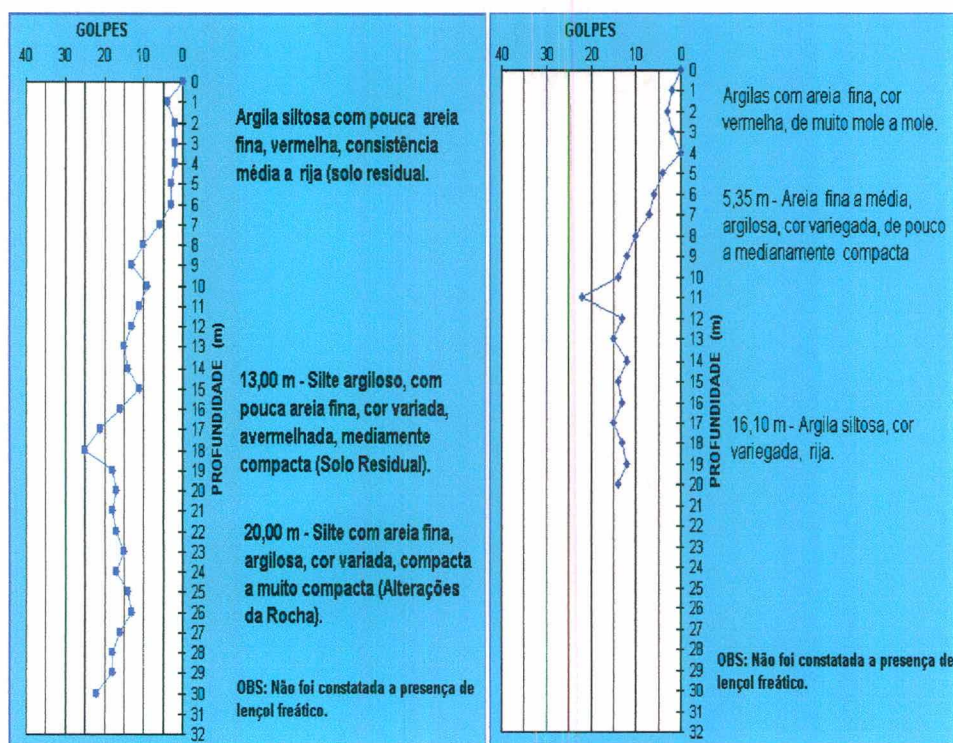


Figura 6.4.1. - Camada laterítica sem maiores variações do número de golpes do SPT.

A tabela 6.5.1 mostra ainda que a umidade natural de algumas localidades se encontra muito próxima da umidade ótima.

Desta forma, como a umidade ótima está muito próxima à umidade natural, a simples utilização de máquinas agrícolas movimentando-se por cima do solo pode provocar a compactação do mesmo. Este fenômeno, no ponto de vista da agronomia, é uma informação importante, pois poderia ocasionar a impossibilidade da penetração das raízes das plantas (“zona de impedimento radicular”).

Localidade	Peso Esp Máx (KN/m ³)	Umid. Ótim (%)	Umidade Natural (%)
Bernardino	15,6	25,2	27,67
Col. Araújo	13,8	35,5	37
Eng. Englert	14,2	31	30
Tapejara	13,6	36	36
Cruzinha	15,1	25	24
Não-Me-Toque	15,4	25,4	23
Pessegueiro	15	26	27
Soledade	14,1	28	28,45
Rincão Policarpo	12,6	36	38,56
Campo Novo	14,3	33,5	35,04
Frederico Westphalen	14	32	34,37
Santa Rosa	13,71	34,5	33,29

Tabela 6.5.1. - Valores da umidade ótima muito próxima da umidade natural.

Graficamente, esta proximidade entre a umidade ótima e a umidade natural de campo pode ser descrita através do gráfico da figura 6.5.1.

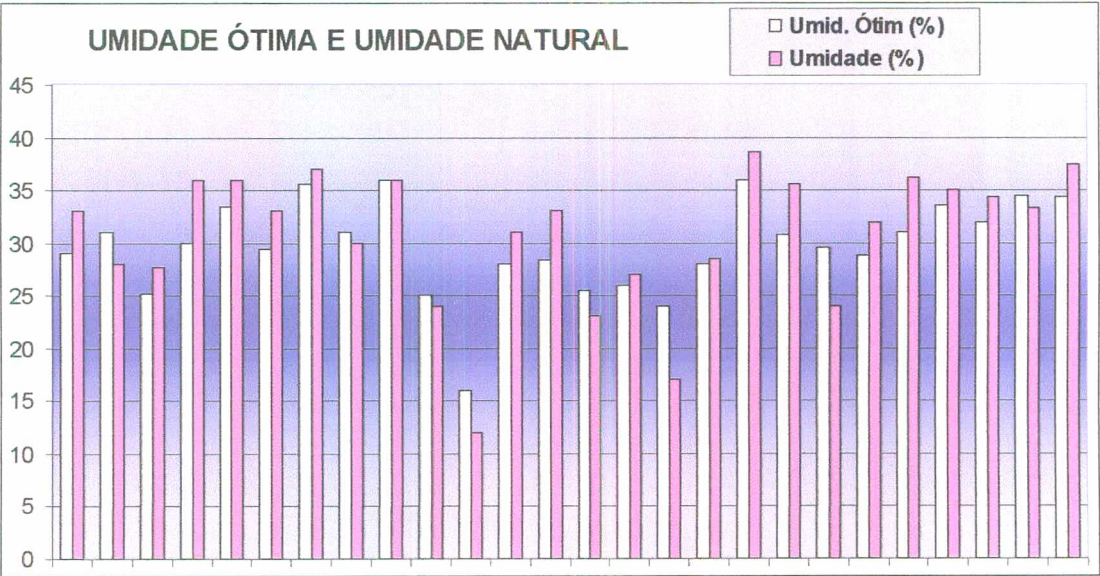


Figura 6.5.1. - Comparação entre a umidade ótima e a umidade natural.

6.6 Compressibilidade

Uma das principais características dos Latossolos é a compressibilidade. A maioria dos solos lateríticos apresenta grandes deformações com pequenos acréscimos de carregamento. O grande motivo deste fenômeno se explica por serem solos bem drenados apresentando um coeficiente de permeabilidade entre 10^{-3} e 10^{-5} cm/seg e pela sua própria estrutura interna.

Os Latossolos do Rio Grande do Sul, quando arenosos, resultam geralmente nos mais compressíveis e colapsíveis.

Para mensurar a compressibilidade do solo foi empregado o ensaio de compressão confinada. Os resultados são de ensaios realizados na umidade natural e inundados.

Todos os gráficos mv x pressão, log (pressão vertical) x índice de vazios, índices de recompressão (cr), de compressão (cc) e do descarregamento (cd) x pressão e deformação x pressão, são utilizados neste banco de dados.

De acordo com os resultados da pressão de pré-adensamento pode ser verificado que a variação dos resultados foi muito grande, resultando valores no intervalo de 42 a 295 KN/m², em sua umidade natural e 30 a 205 KN/m² em corpos de prova inundados. Com a inundação verificou-se que, na maioria das vezes, ocorre uma queda no valor da pressão de pré-adensamento.

O Latossolo Vermelho Escuro da localidade de São Francisco de Assis foi o solo que sofreu maior alteração no valor da pressão de pré-adensamento com a inundação. No estado natural apresentou valores em torno de 150 KN/m² e após 60 KN/m², demonstrando, assim, sua instabilidade estrutural com a inundação.

Baseando-se nos gráficos pertencentes ao banco de dados, é possível perceber que o Latossolo Vermelho Escuro (LE) é o solo mais compressível dentre os estudados, tanto na umidade natural, quanto inundado.

Os dados dos índices de recompressão (*Cr*), de compressão (*Cc*) e do descarregamento (*Cd*), foram obtidos dos ensaios de compressibilidade realizados em várias amostras do horizonte B de diferentes locais.

LOCALIDADES	<i>Cr</i>	<i>Cc</i>	<i>Cd</i>	<i>Cr in</i>	<i>Cc in</i>	<i>Cd in</i>	<i>P'c</i> (KN/m ²)	<i>e(p'c)</i>	<i>P'c in</i> (KN/m ²)	<i>e(p'c) in</i>
São Francisco de Assis	0,024	0,240	0,0097	0,054	0,20	0,01	150	0,83	60	0,8
São Canuto I	0,200	0,710	0,010	0,10	0,35	0,01	210	0,65	75	0,79
São Canuto I	0,026	0,269	0,509	0,105	0,286	0,014	220	0,71	90	0,77
São Canuto II	0,070	0,402	0,008	0,05	0,292	0,017	90	1,04	110	0,7
Manuel Viana	0,019	0,101	0,005	0,028	0,0297	0,012	190	0,755	85	0,76
Santa Bárbara II	0,030	0,30	0,010	0,02	0,35	0,01	180	1,1	160	0,98
Cruz Alta I	0,155	0,425	0,0132	0,083	0,448	0,0055	95	1	115	1,185
Cruz Alta II	0,066	0,698	0,0099	0,162	0,509	0,0171	182	1,13	85	1,142
Passo Fundo II	0,030	0,08	0,010	0,01	0,13	0,01	70	1,1	80	1,11
Maringá	0,020	0,30	0,010	0,09	0,25	0,02	50	0,93	40	0,82

Tabela 6.6.1. - Resultados do ensaio de adensamento de alguns Latossolos Vermelho Escuro.

O gráfico da figura 6.6.2 demonstra alguns índices do ensaio de adensamento dos Latossolos Vermelho Escuro substrato arenito, Latossolo Roxo substrato basalto, Latossolo Vermelho Escuro substrato basalto e Latossolo Bruno Roxo substrato basalto para efeito comparativo.

Os resultados são de ensaios realizados na condição natural e inundado. Os valores da pressão de pré-adensamento foram determinados utilizando-se o método de Casagrande.

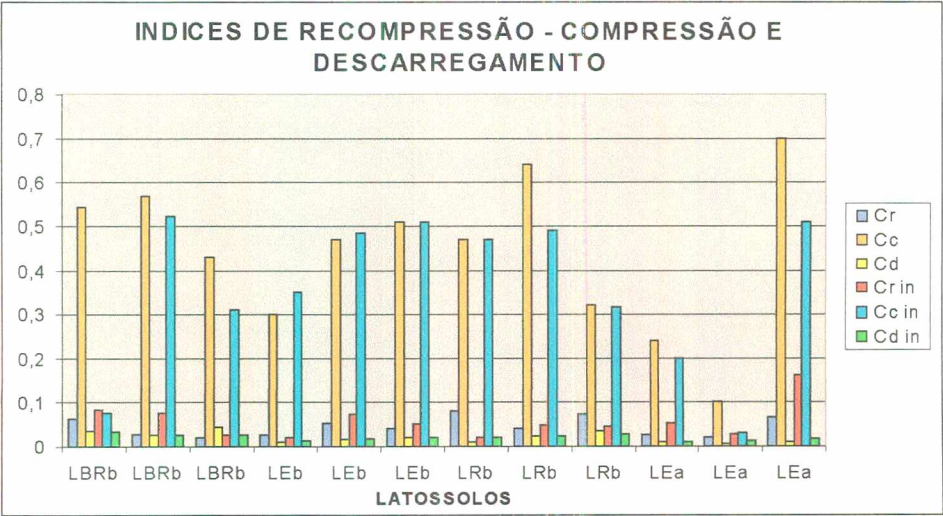


Figura 6.6.2. – Gráfico dos índices de recompressão, compressão e descarregamento.

Com a análise de alguns resultados contidos no banco de dados geotécnicos, foi possível perceber que há uma sensível diminuição da pressão de pré-adensamento dos Latossolos quando inundados. O gráfico 6.6.3 apresenta alguns resultados desta pressão de pré-adensamento para os Latossolos Vermelho Escuros de substrato arenito da localidade.

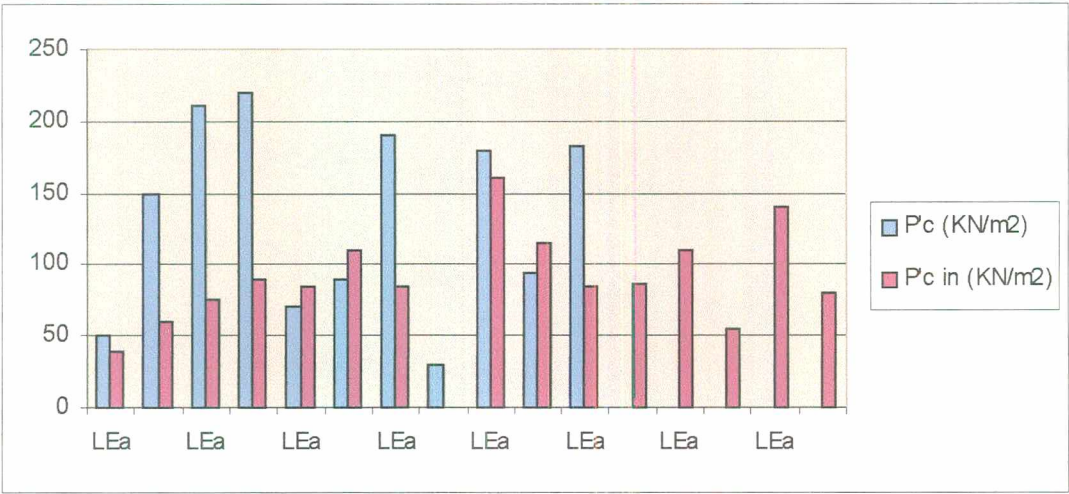


Figura 6.6.3. – Gráfico da pressão de pré-adensamento de amostras de Latossolo Vermelho Escuro substrato arenito.

A figura 6.6.4 demonstra a ocorrência do mesmo fenômeno, porém de forma menos acentuada, nos Latossolos Roxos de substrato basalto. Ocorre queda da pressão de pré-adensamento com a inundação

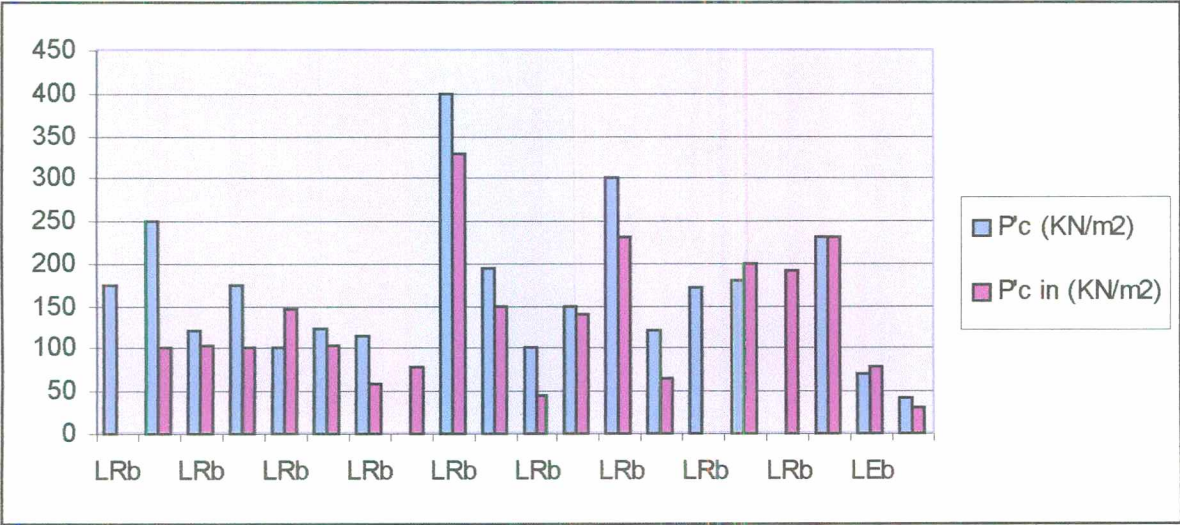


Figura 6.6.4. – Gráfico da pressão de pré-adensamento de amostras de Latossolo Roxo substrato basalto.

6.7 Colapsividade

Os ensaios de colapsividade foram realizados na prensa de cisalhamento direto nas pressões verticais de 15, 30, 50, 100, 150 e 200 KN/m^2 .

Foram medidas as deformações verticais com a inundação, após a estabilização das deformações com o carregamento.

O banco de dados geotécnico inserido no Sistema de Informações Geográficas possibilita que sejam feitas comparações entre unidades geotécnicas distintas.

A partir dos resultados de colapsividade, foi possível comparar os resultados e perceber que os solos que se apresentaram mais colapsíveis foram os solos classificados como Latossolo Vermelho Escuro arenosos (LE) nas unidades de São Francisco e Maringá no Paraná. O gráfico da figura 6.7.1 mostra a variação do colapso com a pressão aplicada nos corpos de prova. Apresentaram-se mais colapsíveis, provavelmente, em razão de seus solos possuírem uma estrutura mais fraca e pela presença de quartzo, em seu horizonte, diminuindo assim a cimentação.

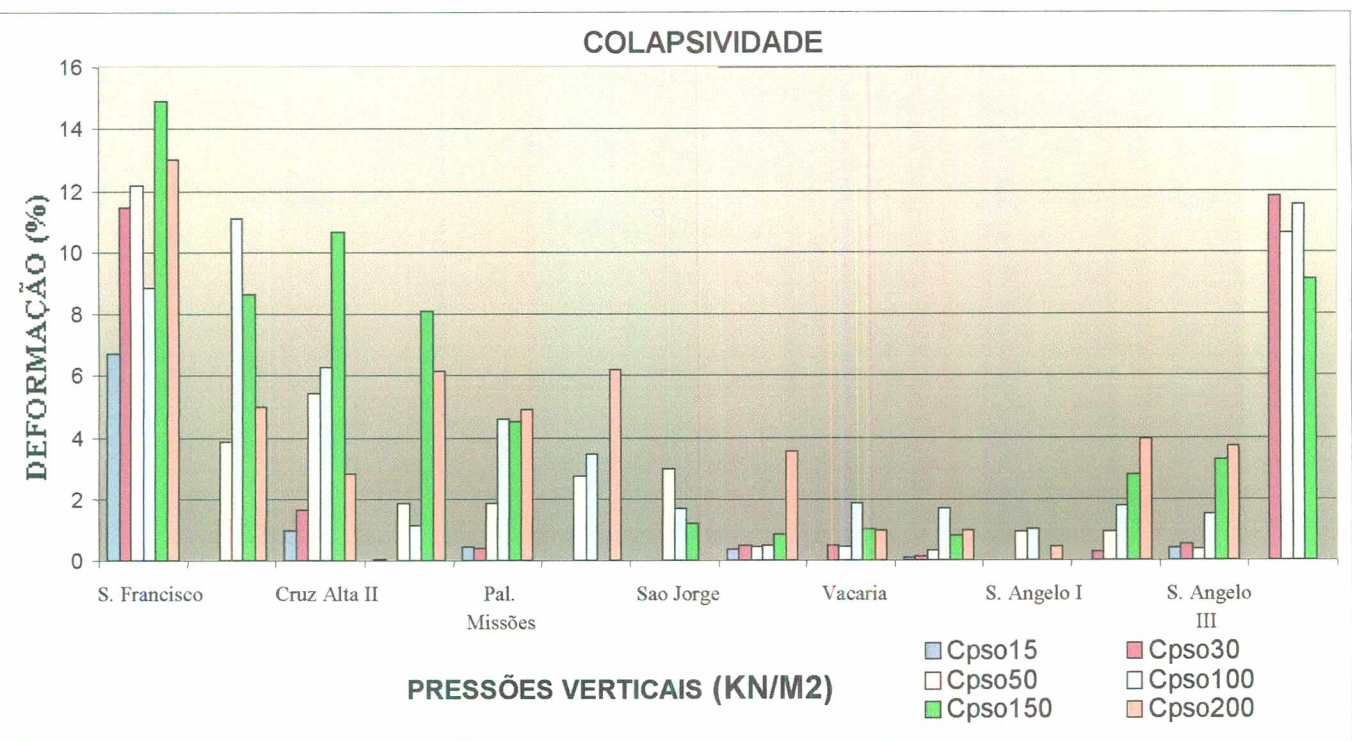


Figura 6.7.1. – Colapsividade dos Latossolos do Norte do estado do Rio Grande do Sul.

As maiores deformações verticais foram obtidas quando o corpo de prova foi submetido a pressões de 150 KN/m².

Os solos que apresentam como seu substrato o basalto, apresentaram-se menos colapsíveis que os demais.

Quase todas as amostras se apresentaram colapsíveis com exceção das localidades de Vacaria e Lagoa Vermelha.

7. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

7.1. Conclusões

O trabalho permitiu atingir os objetivos esperados, que foram de introduzir o mapa geotécnico do norte do estado do Rio Grande do Sul associado a um banco de dados geotécnicos, e gerar, através do Sistema de Informações Geográficas, os mapas de estimativa litológica e pedológica desta região.

Através deste mapa gerado, é possível criar outros mapas temáticos auxiliando o planejamento da utilização e ocupação do solo. Podem ser anexados ao mapa, estudos específicos sobre a hidrografia da região que possibilitem trabalhos em bacias hidrográficas de cada localidade.

Para a obtenção de resultados geotécnicos mais confiáveis, por mais que estes continuem sendo tratados como estimativas de unidades, é de grande importância aumentar a escala de trabalho para que seja possível delimitar com mais exatidão os polígonos das unidades geradas.

A utilização da metodologia de mapeamento geotécnico no estudo de uma determinada área possibilita a orientação da utilização do solo, facilitando a previsão do comportamento dos mesmos.

A utilização desta metodologia em conjunto com um banco de dados inserido em um Sistema de Informações Geográficas possibilita uma análise inicial rápida e esclarecedora da estimativa de comportamento geomecânico de uma determinada área.

O estudo da pedogênese dos solos tropicais e subtropicais orienta e corrige possíveis enganos decorrentes da utilização dos sistemas tradicionais de estudo e classificação do solo.

A individualização dos solos da região de estudo em unidades geotécnicas possibilita uma análise mais detalhada do comportamento geomecânico do solo.

O mapa de estimativas pedológicas da região evidencia que os Latossolos demonstram ser a classe mais encontrada no norte do Rio Grande do Sul, principalmente os que possuem o basalto como substrato.

A geologia da região apresenta-se discriminada em apenas 6 unidades predominantes, tendo o basalto como a litologia mais encontrada na região. Este tipo de rocha, assim como as demais, influencia de forma determinante no tipo de formação dos perfis de solos e no comportamento geomecânico dos mesmos.

A metodologia complementar proposta em atribuir cores às unidades geotécnicas, permite uma distinção mais rápida das unidades, facilitando sua localização no mapa geotécnico.

7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

- Aumentar a escala de trabalho para que sejam possíveis melhores resultados no mapeamento;
- Diferente do que foi realizado, construir primeiramente os mapas pedológico e geológico para que possam ser sobrepostos e assim criar o mapa geotécnico, eliminando eventuais falhas decorrentes do emprego do processo oposto utilizado nesta dissertação;
- Adicionar mais dados ao banco de dados existente enriquecendo-o;
- Realizar ensaios geotécnicos de campo ou amostragens de solos, para ensaios laboratoriais com a utilização de um GPS (*Global Position System*) para a localização mais exata dos pontos;
- Estudar mais detalhadamente as características geotécnicas de cada unidade;
- Realizar correções no mapa de estimativas de unidades geotécnicas utilizando dados de ensaios laboratoriais ou de campo;
- Realizar outros tipos ou mais ensaios geotécnicos para o aumento do conhecimento geomecânico da localidade;
- Separar algumas unidades de estimativa litológica que possuam comportamento diferenciado das demais, como o arenito Botucatu;
- Utilizar-se de mapas geológicos e pedológicos digitalizados para a formulação de outros mapas de unidades geotécnicas;

- Adicionar mais fotos de perfis típicos de solos da região, completando o mapa pedológico;
- Coletar mais resultados de ensaios de campo e laboratório que se conheça a localização exata da extração da amostra;
- Realizar mais trabalhos de campo para se poder comprovar as escalas, e assim as delimitações das unidades geotécnicas;
- Continuar o mapeamento geotécnico de outras regiões para que seja aumentado o conhecimento das características e propriedades dos solos brasileiros.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS

- ABITANTE, E. *Proposta Metodológica de Mapeamento geotécnico com o Uso de Pedologia em Solos Tropicais Visando Obras Rodoviárias*. Florianópolis, 1997. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.
- ANTENUCCI, J. C.; BROWN, K.; CROSWELL, P. L.; KEVANY, M. J. *Geographic Information Systems: A Guide to the Technology*. New York : Chapman and Hall, 1991.
- ARC VIEW. *User's Guide - ESRI*. EUA: Redlands, 1992.
- ARC VIEW. *User's Guide - ESRI*. EUA: Redlands, 1996.
- BALDWIN, M.; KELLOGG, C. E. e THORP, J. "Soil Classification". In: *Soils and Men. USDA - Agriculture Yearbook*., Washington, DC : p. 797 – 1001, 1938.
- BARROSO, J. A. Experiências de Mapeamento Geológico-Geotécnico no Rio de Janeiro: Escalas, Detalhes a Considerar e Resultados. In: II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL. *Anais*. Porto Alegre, UFRGS, 1989. p. 218-227.
- BASTOS, C. *Mapeamento e Caracterização Geomecânica das Unidades Geotécnicas de Solos oriundos dos Granitos, Gnaisses e Migmatitos de Porto Alegre*. Porto Alegre, 1991. Dissertação - Escola de Engenharia, UFRGS.
- BASTOS, C.; MARTINS, A. M.; DUARTE, M.L.; ZULIAN, M.T.C.; ALVES, M.G.; GUIMARÃES, R.F. Diagnóstico ambiental preliminar a partir de mapeamento geológico-geotécnico – estudo de caso: Região Oceânica de Niterói – RJ. In: 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E 1º ENCONTRO REGIONAL DE GEOTECNIA E MEIO AMBIENTE (1996 : São Carlos - SP). *Anais*. São Carlos – SP, ABGE, 1996, p. 29-4.
- BIRKELAND, P. W. *Pedology, Weathering, and Geomorphological Research*. Boulder : Departament of Geological Sciences, University of Colorado. 285p, 1974.
- BOURROUGH, P. A. *Principles of Geographical Information System for Land Resources Assenssment*. New York : Oxford University Press, 1994
- BRASIL – Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. EPE. Levantamento Semidetalhado dos Solos de Áreas do Ministério da Agricultura no

Distrito Federal. Rio de Janeiro, Convênio MA/CONTAP/USAID/BRASIL,. 135p. (Boletim Técnico, 8), 1969.

CÂMARA, G. *Anatomia de um SIG*. Fator GIS. 1993. v.1, n.4, p.11-15.

CÂMARA, G. Anatomia de Sistemas de Informação geográficas: Visão Atual e Perspectivas de Evolução. In: ASSAD, E., SANO, E., ed. "Sistemas de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura". Brasília, DF. Embrapa, 1993.

CÂMARA, G. & FREITAS, U. M. *Perspectivas em SIG*. Fator GIS. 1995. v.3, n.10, p.31-34.

CAMARGO, M.N. KLAMPT, E.; KAUFFMAN, H.J. "Classificação de solos usada em levantamentos pedológicos no Brasil". Separata do Boletim Informativo da SBCS, Campinas : 12(1): p. 11-33, 1986.

CARVALHO, J. B. Estabilização de Solos Lateríticos : Avaliação pela Plasticidade. II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL *Anais*. Porto Alegre pp. 25-33, 1989.

CASAGRANDE, A. *Classification and Identification of Soils*. LOCAL : ASCE, 1948. V. 113.

COSTA, M. O.; PAULON, N. & DINIZ, N. C. Obtenção do Mapa de Erosão Efetiva nas Bacias dos Rios Tietê e Pinheiros com Utilização de Informações Digitais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA (38. : 1994 : Camboriú). *Boletim de Resumos Expandido*. Camboriú, SBG. v.2, p.356, 1994.

DASSOLER DA SILVA. *Uso do Sistema de Informação Geográfica no Cadastro de Sondagens SPT na Bacia do Itacorubi*. Florianópolis, 2000 Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Civil, UFSC.

DATE, C. J. *Introdução a Sistemas de banco de Dados* - Publicare Consultoria e Serviços. – Editora Campus - Rio de Janeiro, 1941.

DAVISON DIAS, R.; Influência da estrutura pedológica na colapsividade dos Latossolos. In: 2^o SIMPÓSIO DE SOLOS NÃO SATURADOS *Anais*. Recife. 1994.

DAVISON DIAS, R. & MILITITSKY, J.; "Metodologia de Classificação de Perfis e Unidades Geotécnicas Desenvolvida na UFRGS". In: *Revista de Solos E Rochas*. 1994.

DAVISON DIAS, R.; BASTOS C.A.B. & PINHEIRO, R.J.B. Perfis de Solos Residuais da Região Metropolitana de Porto Alegre. In: COPPEGEO'93 *Anais*. Rio De Janeiro, 1993.

- DAVISON DIAS, R.; BASTOS, C.; PINHEIRO, R. Projeto SIGEO – Região Metropolitana de Porto Alegre, FAERGS, Porto Alegre, 1996.
- DAVISON DIAS, R. E GEHLING, Y. Y. W. Influence os Fte Macroestrutura Originated from Pedologic Process on the Mechanical Behaviour of Lateritic Porous Soils in South Brazil. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, BRASILIA. PROCEEDINGS *Anais*. São Paulo : ABMS, V.2, p.255-268, 1985.
- DAVISON DIAS, R. *Aplicação da Pedologia e Geotecnia no Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão*. Rio de Janeiro, 1987. Tese de Doutorado - COPPE/UFRJ,.
- DAVISON DIAS, R. *Mecânica dos Solos Laterizados do Norte do Estado do Rio Grande do Sul Visando Engenharia Civil*. Florianópolis, 1997. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil – CPGEC, UFSC.
- DAVISON DIAS, R. Geomecânica dos Solos Lateríticos do Sul do Brasil. II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL *Anais*. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, Novembro, 1989. p. 96-120.
- DAVISON DIAS, R. & GASPARIN, P. Estudo da Macroestrutura de Solos Lateríticos. VIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA DE FUNDAÇÕES *Anais*. Porto Alegre, 1986.
- DAVISON DIAS, R. Proposta uma Metodologia de Estudos Geotécnicos para Implantação de Rodovias, Estradas Rurais e Vicinais em Solos Brasileiros. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO *Anais*. Florianópolis, 2001.
- DUARTE, S. B. *Utilização de Sistema de Informações Geográficas na Análise do Meio Físico e do Uso do Solo na Lagoa da Conceição - Florianópolis*; Florianópolis, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.
- ESRI. *Arc View User's Guide*. EUA : Redlands, 1992.
- GALVÃO, M. V. *Atlas Nacional do Brasil*. Rio de Janeiro : IBGE-CNG, 1966.
- GANE, C. *Análise Estruturada de Sistemas*. Rio de Janeiro : LTC S/A, 1983.
- GENOVIS, B.; COUTINHO, R. Q. & FERREIR A, S. R. Desenvolvimento do Banco de Dados Geotécnico da Cidade do Recife. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA *Anais*. Salvador, 1990.
- GEORIO – INSTITUTO DE GEOTECNIA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO. *Manual Técnico de Encostas – Análise e Investigação*, Rio de Janeiro, 2000.
- GOODCHILD, M.F.; E KEMP K.K. *NCGIA Core Curriculum in GIS* - National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara CA, 1990.

- GRUBER, G. A. G. *Mapeamento Geotécnico da Folha de Cosmópolis-SP*. São Carlos/SP, 2v., 1993. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, USP.
- GUARESI e TEIXEIRA. *Banco de Dados de Sondagens SPT do Município de Tubarão*. Tubarão, SC, 2001. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) Curso de Engenharia Civil, UNISUL.
- HILF, M.W. Foundation and Construction Materials. In: USDI BUREAU OF RECLAMATION. "DESIGN OF SMALL DAMS" *Anais*. United States, 1977.
- HUXHOLD, W. *Introdução aos Sistemas de Informação Geográficas Urbanas*. Nova Iorque : Editora da Universidade de Oxford, 1991, P. 27, In: ANAIS DA REUNIÃO DE GIS/LIS, 1998.
- IAEG-INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. *Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation*. Paris: Unesco, 1976. 76p.
- ISRM - International Society for Rock Mechanics. Commission on Standardisation of Laboratory and Field Tests. Suggested Methods for the Quantitative Descriptions of Discontinuities in Rock Masses. *International Journal for Rock Mechanics and Mineral Sciences*. 15:319-368., 1978.
- JENNY. H. *Factores of Soil Formation*. New York : Mc. Graw-Hill, 1941.
- KERTZMAN, F. F. & DINIS, N. C. As Abordagens de solos utilizadas na geologia aplicada ao Meio Ambiente. In: CURSO DE GEOLOGIA APLICADA AO MEIO AMBIENTE. São Paulo. ABGE/IPT., 1995.
- KLAMP, E.; Relevância da Pedologia na Avaliação do Comportamento de Solos. In: COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL (2. : 1989 : Porto Alegre) *Anais*. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1989. p.13-24.
- KOPEZINSKI, I. *Mineração x Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais impactos Ambientais e seus Processos Modificadores*. Porto Alegre, Ed. Universidade/UFRGS, p.39., 2000.
- KORTH, A., & SILBERSCHATZ, A. *Sistemas de Banco de Dados*. São Paulo : McGraw-Hill, 1989.
- LEINS, V. & AMARAL, S. E. *Geologia Geral*, São Paulo, CIA. Ed. Nacional, p.287, 1978.
- LEMONS et al. Levantamento e reconhecimento de solos do estado do Rio Grande do Sul. Ministério da Agricultura, DNPA - Divisão de Pesquisa pedológica. *Boletim Técnico* 30, 1973.

- LIMA JR, C. O. *Mapeamento Geotécnico do Município de Florianópolis em meio Digital Visando o Sistema de Informações Geográficas*. Florianópolis, 1997. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- MACCARINI, M. *Laboratory studies of a Weakly Bonded Artificial Soil*. Londres, 1987. Tese (Doutorado) - Universidade de Londres.
- MACENO, F. F & SOARES, G. *Estudo de Fundações Baseado em Sondagens SPT Realizadas nos Terminais de Integração de Florianópolis*. Florianópolis, 2001. Monografia – UNISUL.
- MARBLE, D. Geographical Information System: In Overview. In: PECORA CONFERENCE, 1984, Sioux Falls, S. d. Proceedings... Sioux Falls, S. D.. VI, p.18-24, 1984.
- MATULA, M. Principles and Typs of Engineering Geological Zoning. Itália, Mem. Soc. Geol. Int, n.14, p.327-336, 1976.
- MENEGUETTE, A. Courseware em Ciências Cartográficas. - Unesp - Campus de Presidente Prudente, Texto extraído da Internet, 2000.
- MINEROPAR. *Mapeamento Geológico-Geotécnico da Região do Alto Iguaçu*. Curitiba : Convênio 04/93 Mineropar/Comec, 1994.
- NOGAMI, J. A Importância da Geologia Aplicada nos Estudos dos Solos para Finalidades Rodoviárias. In: CONGRESSO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM *Anais*. 1951.
- NOGAMI, J. Determinação do Índice de Suporte Califórnia com Equipamento de Dimensões Reduzidas – Ensaio de Mini-CBR”. In : II REUNIÃO DAS ORGANIZAÇÕES RODOVIÁRIAS *Anais*. Brasília, 1972.
- NOGAMI, J., VILLIBOR, D. F. Uma Nova Classificação de Solos para Finalidades Rodoviárias. In : SIMPOSIO BRASILEIRO DE SOLOS TROPICAIS EM ENGENHARIA *Anais*. Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ, 1981.Vol. 1.30/41.
- NOGAMI, J., VILLIBOR, D. F. Peculiarities of Fine Grained Stabilized Lateritic Soils. PROC. INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS. IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS *Anais*. Brasilia, ABMS, 1985. Vol 2, 327/337.
- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T. & CAMARGO, M. N. Classes Gerais de Solos do Brasil: Guia auxiliar para seu reconhecimento. São Paulo : FUNEP – Fundação de Estudos e Pesquisas em Agronomia Medicina Veterinária e Zootecnia, 1992.
- PEDRO, G. Distribution des Principaus Types D’alteractaion Chimique a la Superficie du Globe. Revie Geographic Phisique et Geologia Dinamique, 1968.
- RADAMBRASIL – Rio Grande do Sul - Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e uso Potencial da Terra. Vol. 33 - Rio de Janeiro, 1986.

- RODRIGUES, M. Geoprocessamento. In : ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHEIROS CARTÓGRAFOS (5. : 1988 : Presidente Prudente) *Anais*. Marília : Gráfica da UNESP, 1988. V.1, p.144-60.
- SANTOS, G. T. *Integração de Informações Pedológicas, Geológicas e Geotécnicas Aplicadas ao Uso do Solo Urbano em Obras de Engenharia*. Porto Alegre, 1997. Tese de Doutorado – UFRGS.
- SERRA JUNIOR, E.; MATSUDA, K; AZEVEDO, A. A. E COSTA, M.O. Sistema Automatizado para Caracterização de Maciços Rochosos e Terrosos em Geologia de Engenharia. In : CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA (7. : 1993 : Poços de Caldas) *Anais*. São Paulo, ABGE; 1993. V.2, p.43-54.
- SILVA, A. B. *Sistemas georreferenciados de Informação: Uma Introdução*. Campinas: Unicamp (Apostila do curso de especialização), 1994.
- SIMONSOM, R. W. Outline of a Generalized Theory of Soils Genesis. Soil Sci. Soc. Proc., 1959.
- SOUZA, N.C.D.C. *Mapeamento Geotécnico da Folha de Aguai, com Base na Compartimentação por Formas de Relevo e Perfis Típicos de Alteração*. São Carlos, 1992. Dissertação (mestrado) - EESC, USP.
- STAR, J. e ESTES, J. *Sistemas de Informação Geográfica: uma Introdução*. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, em 1990, P. 2-3, 1990.
- TEIXEIRA, A. L., MORETTI, E., CHRISTOFOLETTI, A. *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica*. Rio Claro : Ed. do Autor, 1992.
- TEXEIRA, V. H. Apostila de Geologia, Notas de aula, Universidade federal de Santa Catarina – Florianópolis, 1992.
- TOMLIN, D.; *Sistemas de Informação Geográfica e Modelagem Cartográfica* Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, em 1990.
- UNESCO – IAEG. *Engineering Geological Maps. A Guide to Their Preparation*. Paris : The unesc press, 79p.
- VALENTE, A.L.S. *Banco de dados por Meio de Geoprocessamento para Elaboração de Mapas Geotécnicos, Análise do Meio Físico e suas Interações com a Mancha Urbana de Porto Alegre*. Porto Alegre, 1999. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais – PPGEM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS.
- VARGAS, M. Origem, Propriedade e Natureza dos Solos Residuais Indeformados. Publicação 2/70, COPPE/EFRJ, 1970.

- VARNES, D. J. *The Logic of Geological Maps, With Reference to Their Interpretation and Use for Engineering Purposes*. Washington : U.S. Government Printing Office. 48.p. (Geological Survey Professional Paper, 837), 1974.
- YODER, E. J., WITCZACK, M. W. *Principles os Pavement Design*. John Wiley & Sons, INC, 2ª Edição, 712 pg., 1975.
- ZUQUETTE, L. V. & PEJON, O. J. "Mapeamento Geotécnico Regional na Escala 1:100.000 – Considerações Metodológicas". *Revista do Instituto Geológico, Volume Especial*, São Paulo : pg23 a 30, 1995.
- ZUQUETE, L. V. *Análise Crítica da Cartografia Geotécnica e Proposta Metodológica para Condições Brasileiras*. São Carlos, 1987. Tese (Doutorado) – EESC-USP.
- ZUQUETTE, L.V. *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras* São Carlos – SP, 1987. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC, Universidade de São Paulo – USP.
- ZUQUETTE, L.V.; NAKAZAWA, V.A. *Cartas de Geologia de Engenharia*. In: ABGE. *Geologia de Engenharia*. São Paulo : Editora. p. 283-300, 1998.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

- ABITANTE, E.; DAVISON DIAS, R.; FILHO, E. C. In: II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL *Anais*. Porto Alegre – RS, UFRGS, 1989. p. 248-256.
- ANTUNES, F. S. O Uso da Pedologia na Engenharia. II COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL *Anais*, Porto Alegre, 1989. pp. 25-33.
- ARONOFF, S.; *Geographic Information Systems : A Management Perspective*. Ottawa, Canadá, 1989.
- BARROSO, J.A. Pedological Maps Interpretation For Soil Planning In The West Zone of Rio De Janeiro. In : 5TH INTERNATIONAL CONGRESS OF IAGE, OCT *Anais*. Buenos Aires, 1986.
- BISHOP, A. W. et al. Factors Controlling The Strength of Partily Saturated Cohesive Soils. In: RESEARCH CONFERENCE ON SHEAR STRENGTH OF COHESIVE SOILS *Anais*. University of Colorado, 1961.
- CELESTINO, T. B.; DINIZ N. C. Informática. In : ABGE. *Geologia de Engenharia*. São Paulo : Editores: Antonio Manuel dos Santos Oliveira, Sérgio Oliveira, Sérgio Nertan Alves de Brito, 1998.
- DAVISON DIAS, R.; BASTOS C.A.B. & PINHEIRO, R.J.B. Perfis de Solos Residuais da Região Metropolitana de Porto Alegre. *Revista Solos e Rochas*, 1994.
- DAVISON DIAS, R. Proposta de Metodologia de Definição de Carta Geotécnica em regiões Tropicais e Subtropicais. In : I SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA *Anais*. São Paulo, 1993.
- DAVISON DIAS, R.; BASTOS C.A.B. & PINHEIRO, R.J.B. Carta Geotécnica Básica da Grande Porto Alegre Visando Uso e Ocupação Urbana. In : I FORUM NACIONAL SOBRE GEOLOGIA DOS MEIOS URBANOS *Anais*. Porto Alegre, 1993.
- DAVISON DIAS, R. E GEHLING, Y. Y. W. The Use of Pedology to Indicate Geotechnical Mapping Units in Tropical and Subtropical Regions. FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS OF IAGE *Anais*. Buenos Aires, 1986.
- DAVISON DIAS, R. “Solos Lateríticos do Rio Grande do Sul, Ocorrência e Caracterização Geotécnica”. *Revista Solos e Rochas*, v. 10, n. 2, 1988.
- DAVISON DIAS, et al. Proposição de um método de obtenção de características geotécnicas de Solos Superficiais Utilizando Levantamentos Pedológicos, Topográficos e Geológicos. 4^º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA *Anais*. Belo Horizonte, ABGE, 1984. v.2. pp. 367-386.

- DAVISON DIAS, R. & GEHLING, Y. Y. W. Influence of the Macroestrutture Originated From Pedologic Process on The Mechanical Behaviour of Lateritic Porous Soils in South Brazil. In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN: TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, BRASILIA, PRCEEDINGS *Anais*. São Paulo, ABMS, 1985. V.2, pag.255-68. Feb., 1985.
- DAVISON DIAS, R. Pedogenesis and its Relationship to Lateritic Compressibility and Collapsibility In : XII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOIL MECHANICS AND FOUNDATION ON ENGINEERING *Anais*. New Delhi, 1994.
- DAVISON DIAS, R. Influence of the Moisture Content in the Shear Strength of Undisturbed Lateritic Soil. Geomechanis. In : TROPICAL SOILS *Anais*. Singapore, 1988.
- DAVISON DIAS, R. E GEHLING, W. Y. Y. Geotechnical Aspect of Undeformed Lateritic Soils in South Brazil. FIFTH INTERNATIONAL CONGRESS OF IAGE (ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA) *Anais*. Buenos Aires, 1986.
- DAVISON DIAS, R. *Metodologia de Estudos Geomecânicos de Grandes Áreas*. Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil – UFRGS, 1991.
- DEARMAN, W.R., BAYNES, F.J., IRFAN, T.Y. Engineering Grading of Weathered Granite. *Engineering Geology*. 1978.
- DUBLEY, H. J. "Review of Collapsing Soils". *Journal os the Soil Mechanica and Foundation Division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers*. pag. 925-947, 1970.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. *Estudo Expedido de Solos do Estado do Rio Grande do Sul e parte de Santa Catarina, Para Fins de Classificação, Correlação e Legenda Preliminar*, Rio de Janeiro,, (Boletim Técnico, 75), 1980.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Mapa de Solos do Brasil*, Escala 1:5.000.000. Coordenado e planejado por M. N. Camargo. 1981.
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, Rio de Janeiro, RJ. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, Brasília, Produção de Informação – Embrapa Solos, 1999.
- FREDLUND, D. G.; MORGENSTERN, N. R.; WIDGER, A. "Shear Strength of Unsaturated Soils". *Canadian Geotechnical Journal*., Ottawa : 313-21, 1978.

- FREDLUND, D. G. & HO, D. Y. F. "A Multistage Triaxial Test for Unsaturated Soils". *Geotechnical Testing Journal*, Philadelphia, 18-25, 1982.
- FREDLUND, D. G. & RAHARDJO, H. Theoretical Context for Understanding Unsaturated Residual Soil Behavior. In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON GEOMECHANICS IN TROPICAL LATERITIC AND SAPROLITIC SOILS, BRASILIA, PROCEEDINGS *Anais*. São Paulo, ABMS, 1985.pag. 295-306.
- GEHLING, W.Y.Y.; DAVISON DIAS, R & ROISENBERG, A. Caracterização Geotécnica de Solos do Planalto Meridional do RS, 1981.
- GONÇALVES, M. C. D.; DAVISON DIAS, R & ROISENBERG, A. Contribuição ao Estudo do Comportamento de Solos Argilosos da Região de Manaus, 1981.
- INSTITUTO DE PESQUISAS DE SISTEMAS AMBIENTAIS (ESRI); *Compreendendo SIG: O método do ARC/INFO*. Redlands, CA, P.1-2., 1990.
- JUNIOR, S. E.; MATSUDA, K.; AZEVEDO, A. A. & COSTA, M. O. Sistema Automatizado para Caracterização de Maciços Rochosos e Terrosos em Geologia de Engenharia. Poços de Caldas. São Paulo, 1990.
- MACCARINI, M. Estudo da Quebra de Cimentações de um Solo Artificial - Uma Tentativa de Modelo para Solos Residuais. In : COLÓQUIO DE SOLOS TROPICAIS E SUBTROPICAIS E SUAS APLICAÇÕES EM ENGENHARIA CIVIL (2. : 1989 : Porto Alegre) *Anais*. Porto Alegre, CPGEC/UFRGS, 1989. P.82-95.
- MITCHELL, J.K., SITAR, N. Engineering Properties of Tropical Residual Soils. In: SPECIALTY CONFERENCE ON ENGINEERING AND CONSTRUCTION IN TROPICAL AND RESIDUAL SOILS, Honolulu, Hawaii, 1982. *Anais* New York : ASCE, 1982. P.30-57, 1982.
- MUNSELL COLOR COMPANY. *Munsell Color Soil Charts*. Baltimore, USA : Kollmorgen Corporation, 1988.
- NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. *Pavimentação de baixos custos com solos lateríticos*. São Paulo : Ed. Vilibor, 240p., 1995.
- OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. *Geologia de Engenharia*, ABGE, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- PELLERIN, J.; SCHEIBE, L. F.; BUSS, M. D.; PONTELLI, M. E.; VALDATI, J.; PAISANI, J. C. Cartografia Geológica e Geomorfológica, Bases para uma Cartografia de Riscos: Exemplo no Sul do estado de Santa Catarina. In: 3º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA *Anais*. Florianópolis – SC, UFSC/ABGE, 1998.
- RAO, S.M., SRIDHARAN, A., CHANDRAKARAN, S. The Role of Ironoxide in Tropical Soil Properties. In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON

GEOMECHANICS IN TROPICAL SOILS , 1988,, Rotterdam: A.A. Balkema. Singapore, 1988. V.1, P.43-48.

TOWNSEND, F. C. Geotechnical Characteristics of Residuals Soils. ASCE GEOTECHNICAL ENGINEERING DIVISION SPECIALITY CONFERENCE, ENGINEERING AND CONSTRUCTION IN TROPICAL AND RESIDUAL SOIL *Anais*. 1985.

TOWNSEND, F.C., MANKE, P.G., PARCHER, J.V. The Influence of Sesquioxides on Lateritic Soil Properties. Highway Research Record, N.374, P.80-92, 1971.

VARGAS, M.; The Concept of Tropical Soils” *Proced. International Conference on Geomechanics in Tropical Lateritic and Saprolitic Soils* (1. : 1985). ABMS. v.3, 1985.

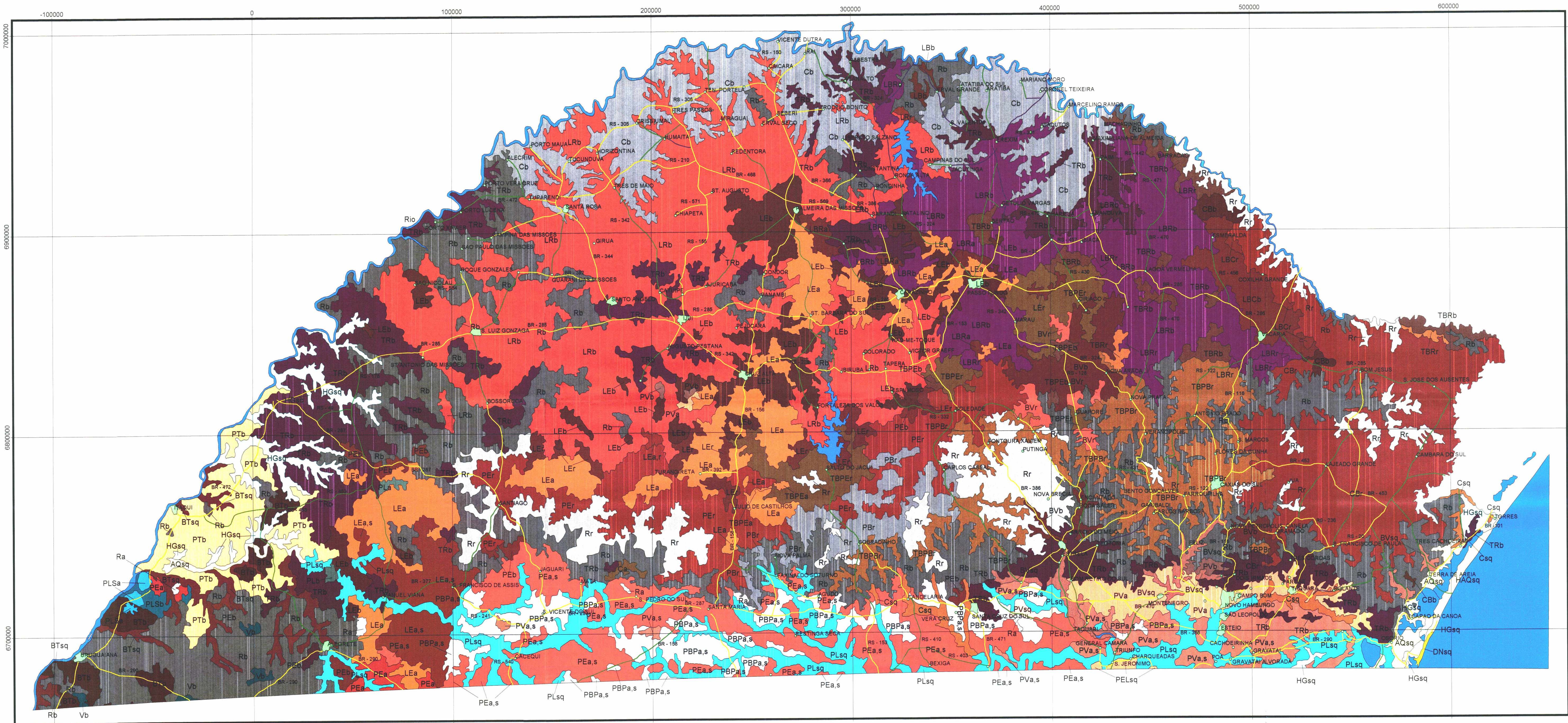
VARTER, O. Soil Survey of the Lajas Valey Area - Puerto Rico. Soil Conservation Service. USDA. Serie no.23. United States Government Plinting Office. p170., 1965.

VAUGHAN, P.R., MACCARINI, M., MOKHTAR, S.M. “Indexing The Engineering Properties of Residual Soils”. *Quarterly Journal Of Engineering Geology*, V.21, P.69-84, 1988.

ANEXO

MAPA GEOTÉCNICO

MAPA GEOTÉCNICO DO NORTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL



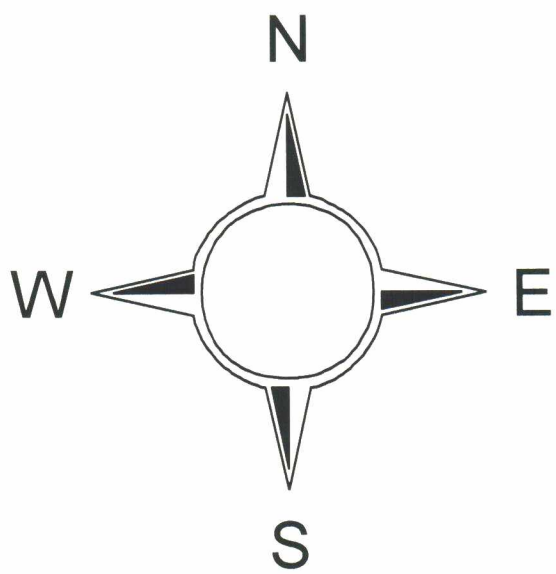
SIMBOLOGIA

Cidades Água Rodovias Pavimentadas Rodovias Implantadas Rodovias em Pavimentação

20 0 20 40 60 80 100 Km

UNIDADES GEOTÉCNICAS

AQsq	Areia Quartoza - Sedimentos Quaternários	LBb	Latossolo Bruno - Basalto	Rb	Litólico - Basalto	PEa	Podzólico Vermelho Escuro - Arenito
BVb	Brunizem Avermelhado - Basalto	LBCb	Latossolo Bruno Câmbico - Basalto	Rr	Litólico - Riolito	PEa.s	Podzólico Vermelho Escuro - Arenito e Siltito
BVr	Brunizem Avermelhado - Riolito	PLa	Planossolo Bruno Câmbico - Riolito		Planossolo - Arenito	PEb	Podzólico Vermelho Escuro - Basalto
BVsq	Brunizem Avermelhado - Sedimentos Quaternários	LBRa	Latossolo Bruno interm. p/ Latossolo Roxo - Arenito	PLb	Planossolo - Basalto	PER	Podzólico Vermelho Escuro - Riolito
BTb	Brunizem Vértico - Basalto	LBRr	Latossolo Bruno interm. p/ Latossolo Roxo - Basalto	PLsq	Planossolo - Sedimentos Quaternários	PElsq	Podzólico Vermelho Escuro Latossólico - Sedimentos Quaternários
BTsq	Brunizem Vértico - Sedimentos Quaternários	LEa	Latossolo Vermelho Escuro - Arenito	PLSa	Planossolo Solódico - Arenito	TBPBr	Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Bruno Acinzentado - Riolito
Ca	Cambissolo - Arenito	LEa.s	Latossolo Vermelho Escuro - Arenito e Siltito	PLSb	Planossolo Solódico - Basalto	TBPb	Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Vermelho Escuro - Basalto
Cb	Cambissolo - Basalto	LEb	Latossolo Vermelho Escuro - Basalto	PTb	Plintossolo - Basalto	TBPbr	Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Vermelho Escuro - Riolito
Csq	Cambissolo - Sedimentos Quaternários	LEb.s	Latossolo Vermelho Escuro - Basalto e Siltito	PBr	Podzólico Bruno Acinzentado - Riolito	TBPb	Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Podzólico Vermelho Escuro - Basalto
CBb	Cambissolo Bruno - Basalto	LEb.s	Latossolo Vermelho Escuro - Basalto	PBPas	Podzólico Bruno Acinzentado Planossólico - Arenito e Siltito	TBRb	Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Terra Roxa Estruturada - Basalto
CBr	Cambissolo Bruno - Riolito	LEb	Latossolo Vermelho Escuro - Basalto	PVa	Podzólico Vermelho Amarelo - Arenito	TBRr	Terra Bruna Estruturada Interm. p/ Terra Roxa Estruturada - Riolito
DNsq	Dunas - Sedimentos Quaternários	LEb	Latossolo Vermelho Escuro - Basalto	PVa.s	Podzólico Vermelho Amarelo - Arenito e Siltito	TBR	Terra Roxa Estruturada - Basalto
HGsq	Gley - Sedimentos Quaternários	LEb	Latossolo Vermelho Escuro - Riolito	PVb	Podzólico Vermelho Amarelo - Basalto	Vb	Vertissolo - Basalto
		Ra	Litólico - Arenito	PVsq	Podzólico Vermelho Amarelo - Sedimentos Quaternários		



TÍTULO:	MAPA DE UNIDADES GEOTÉCNICAS DO NORTE DO RIO GRANDE DO SUL		
INSTITUIÇÃO:	UFRGS / UFSC		
ELABORAÇÃO:	REGINA DAVISON DIAS / GILNEI ARNOLD et al.		PRANCHIA:
DIGITALIZAÇÃO - EDIÇÃO - SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS:	RAFAEL HIGASHI / KLAYTON P. MARTINS		01
BANCO DE DADOS:	RAFAEL HIGASHI		
DATA:	SET / 2001	ESCALA:	1 : 1.000.000
		PROJEÇÃO:	UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR FUSO 22 (5° W) - DATUM SAD69